



**Aprendendo com Falhas e
Acidentes nas Estruturas de
Concreto**

Paulo Helene
*Diretor PhD Engenharia
Prof. Titular Universidade de São Paulo USP
Conselheiro Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures
Presidente ALCONPAT*



Natal 10 de setembro de de 2011 Universidade Potiguar

1

**Erros, Falhas,
Omissões, Colapsos,
Acidentes, Frustrações,
Atrasos, Retrabalho,
Constrangimentos,
Decepções, Vergonha...**

2

**“Duro”
Aprendizado!**

3

**“Duro”
Aprendizado!**
vitórias/soluções/desafios

4

Robert Stephenson discurso de posse presidência Instituto dos Engenheiros Civis da Grã-Bretanha. 1856:

“...tenho esperança de que todos os acidentes e problemas que tem ocorrido nos últimos anos sejam registrados e divulgados.

Nada é tão instrutivo para jovens e experientes engenheiros como o estudo dos acidentes e da sua correção.

O diagnóstico desses acidentes, o entendimento dos mecanismos de ocorrência, é mais valioso que a descrição dos trabalhos bem sucedidos.

Com esse objetivo nobre é que proponho a catalogação , discussão e divulgação desses problemas através desta reconhecida Instituição...”

5

✓ Postura dos Organizadores deste evento

✓ com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

6

✓ Postura dos Organizadores

✓ compareço aqui com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

7

✓ Postura dos Organizadores

✓ com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

8

✓ **Postura dos Organizadores**

✓ **com experiência de um
CONSTRUTOR**

✓ **conhecimento de quem atende
casos de colegas**

✓ **com a humildade de quem já
errou...**

9

Edifício Comercial

2009
fissuras em lajes
obra nova

10



11



12



13



14



15

Laje de 15cm de espessura :
 375kg/m^2

Dimensionada para 150kg/m^2

1 ano de idade

 A schematic diagram of a chair with a wooden seat and backrest, supported by four legs. The chair is positioned to the right of the text.

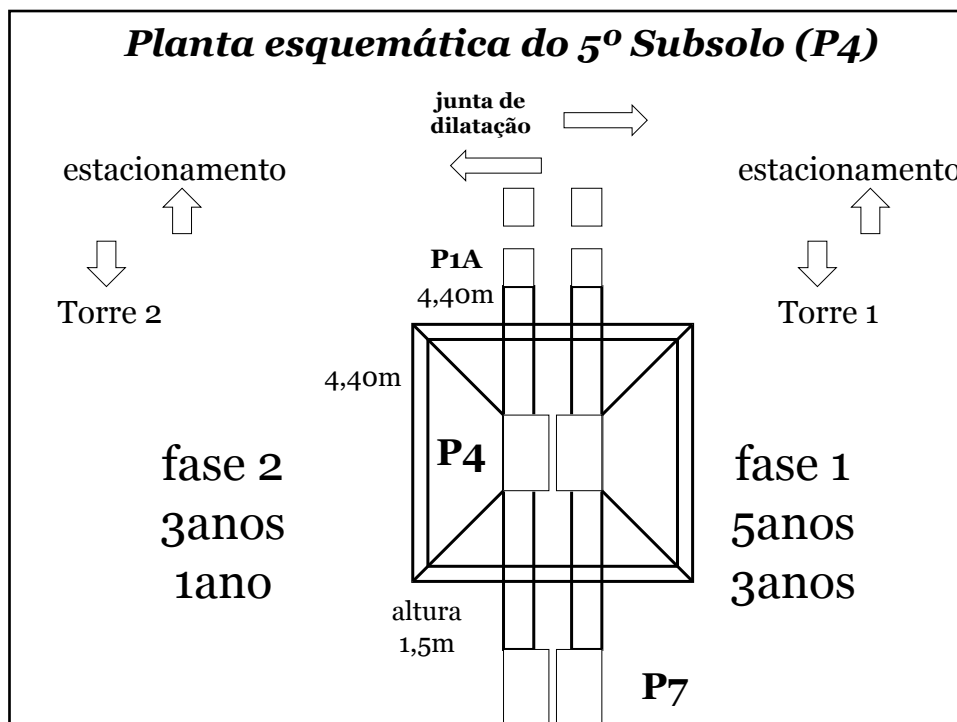
16



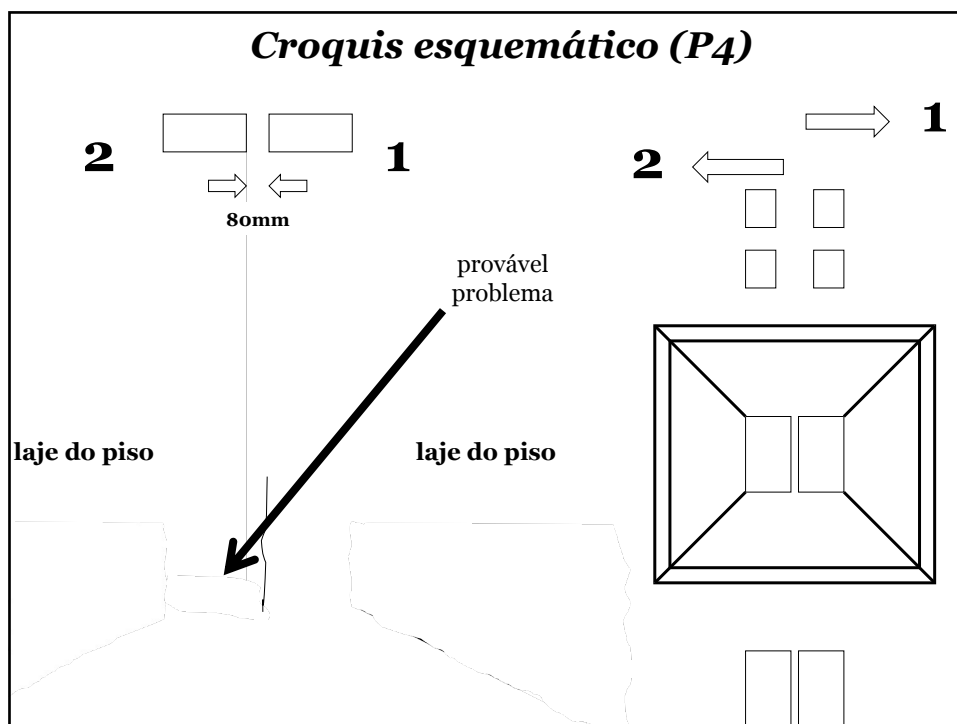
17

seria um caso
de sabotagem
???

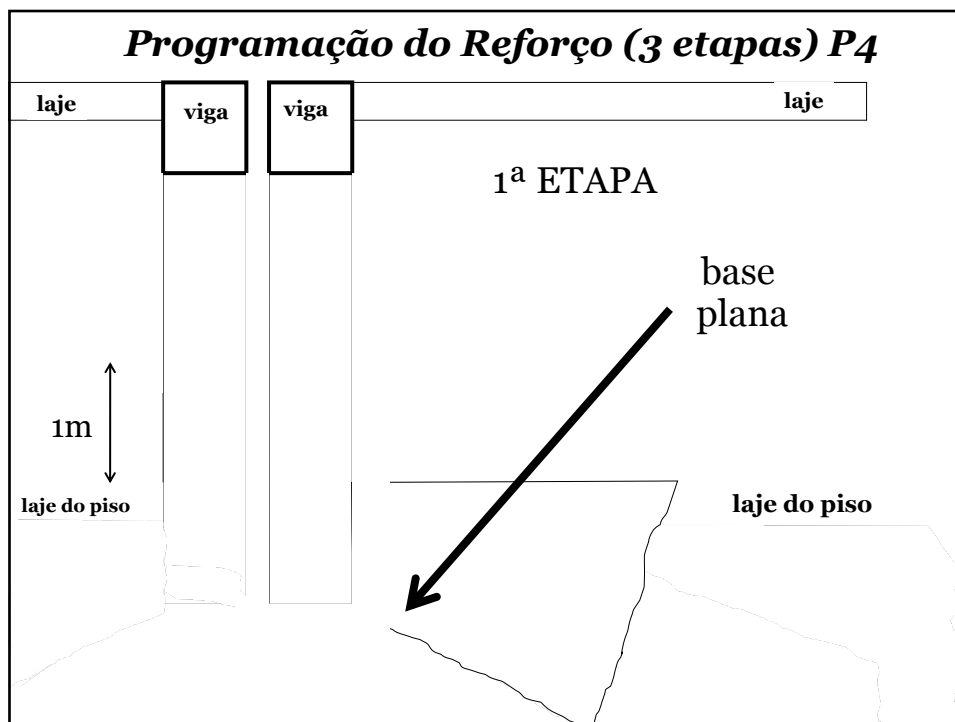
18



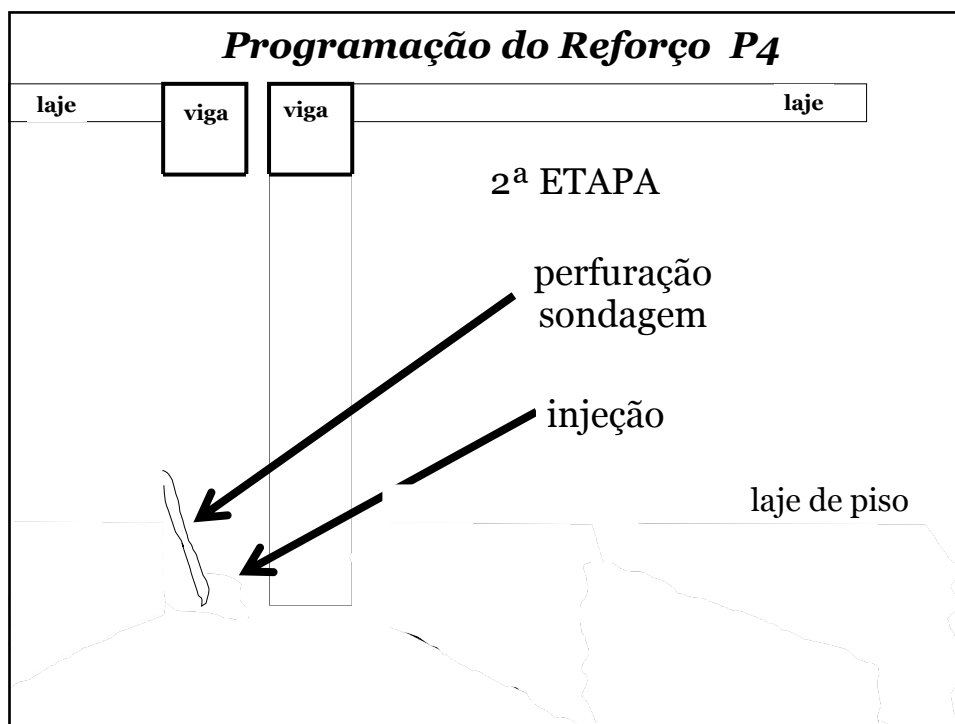
19



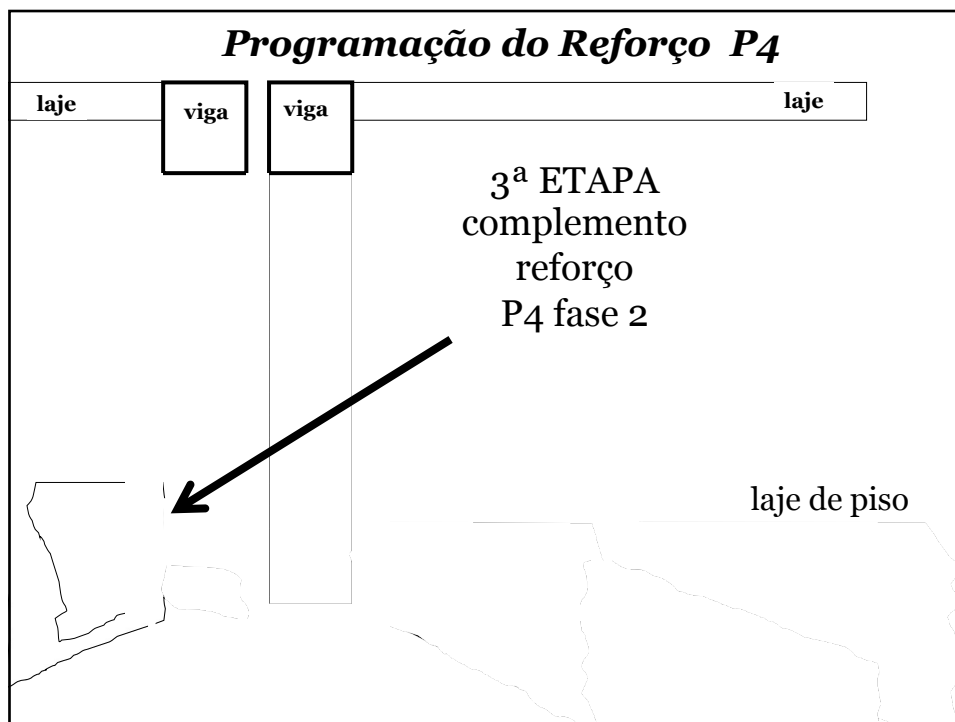
20



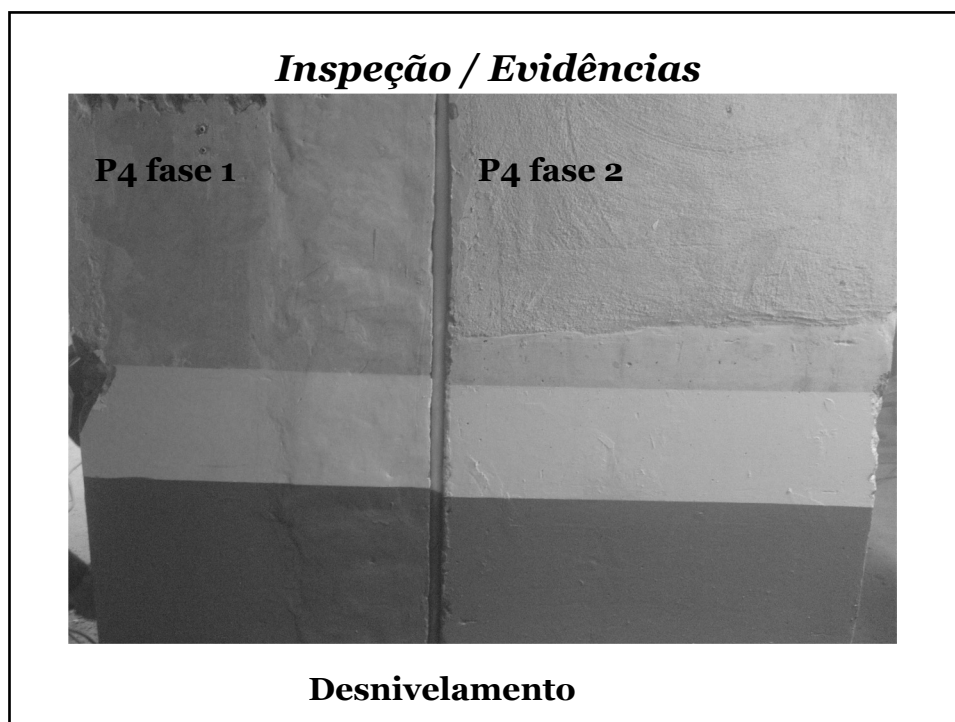
21



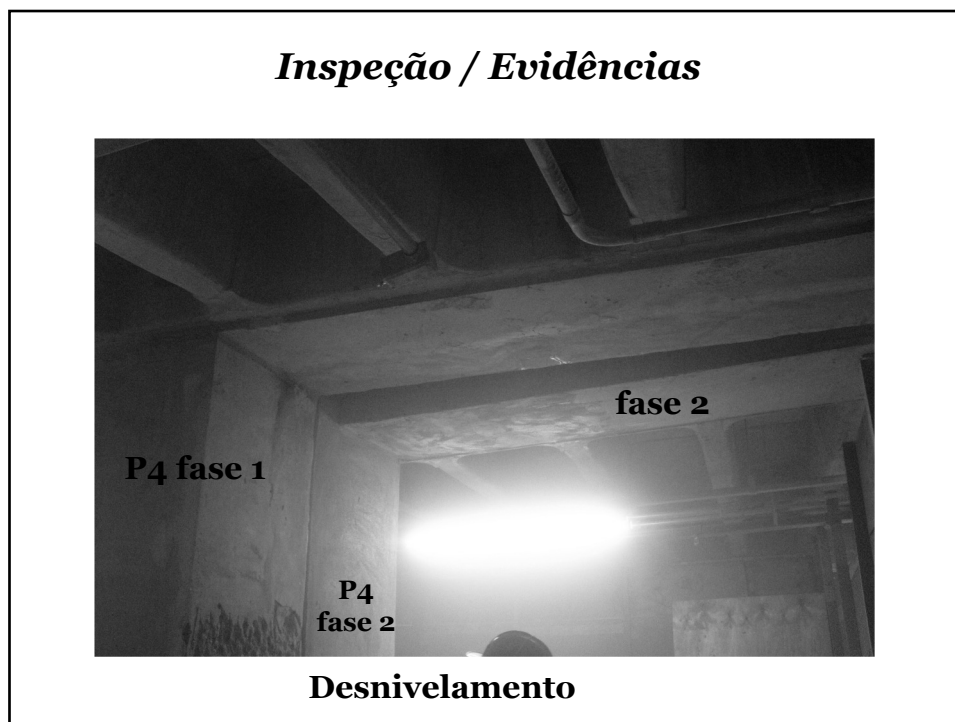
22



23



24



25



26

Inspeção / Evidências



Fissuras em Vigas

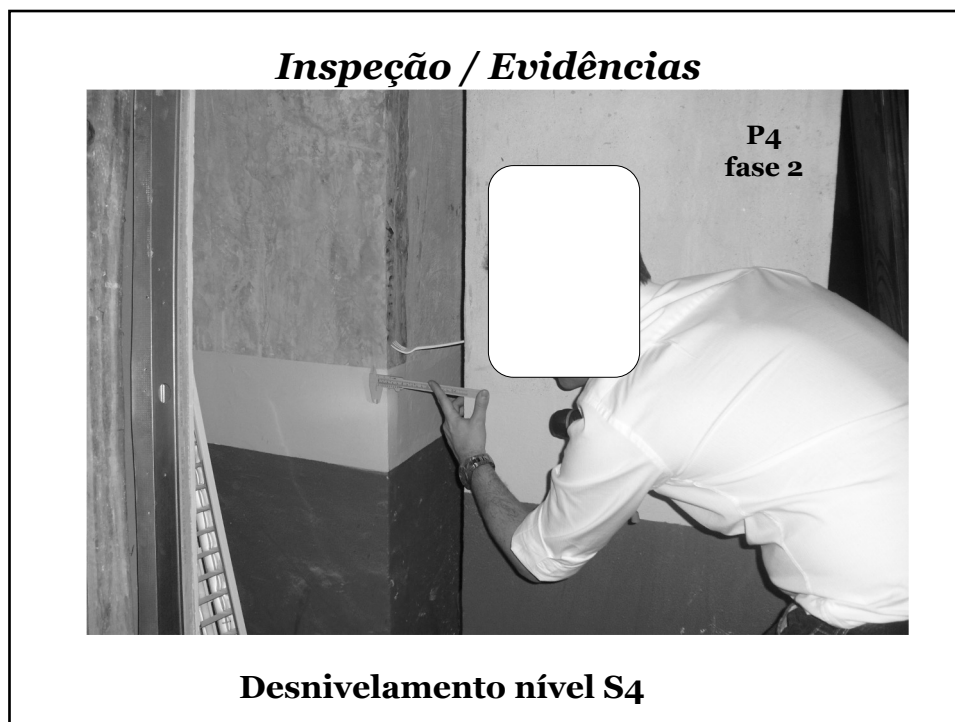
27

Inspeção / Evidências

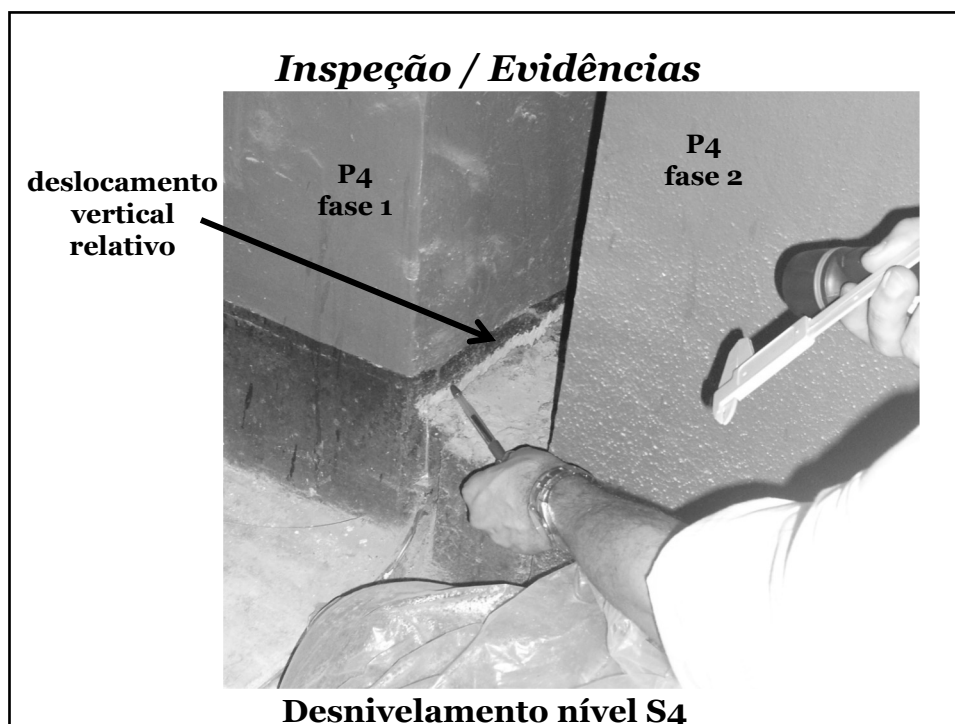


Fissuras em Vigas

28



29



30



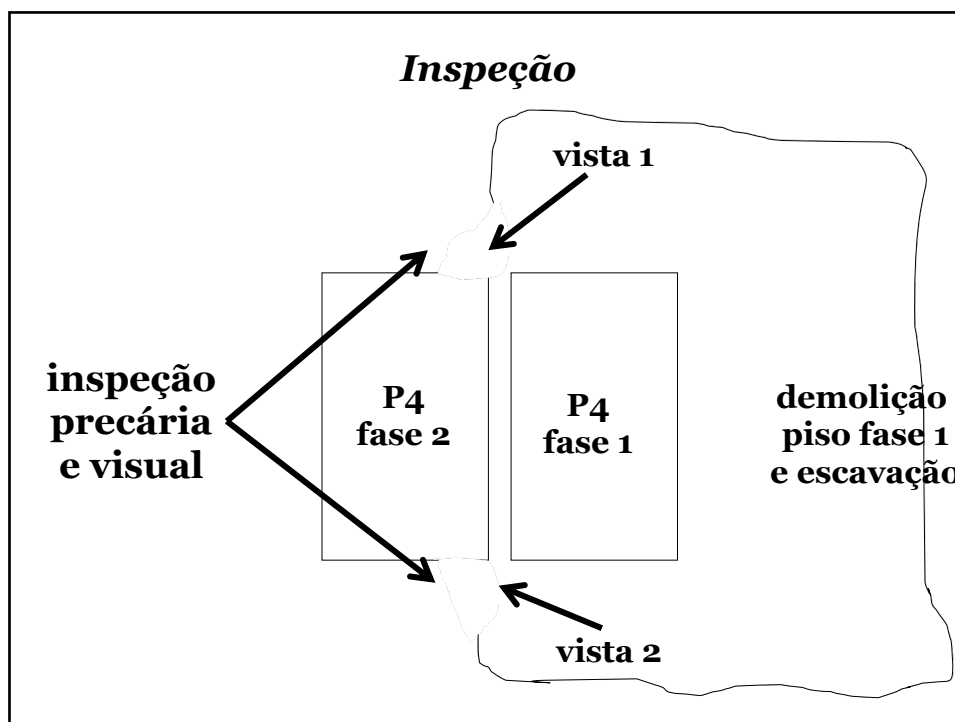
31



32



33



34

Inspeção



Demolição Piso fase 1

35

Inspeção

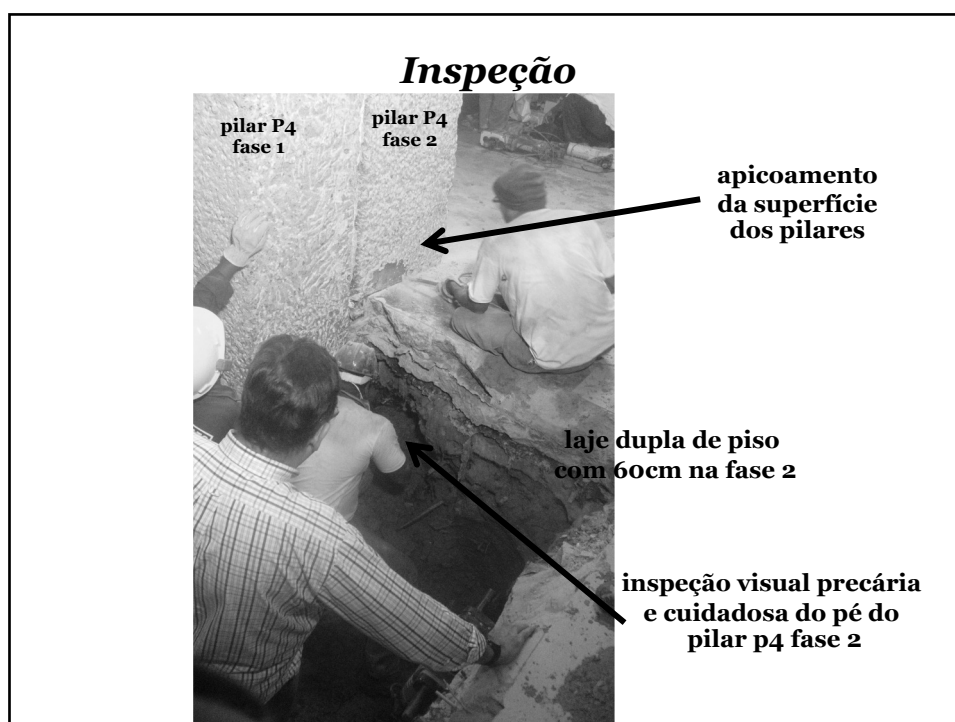


Escavação Piso fase 1

36



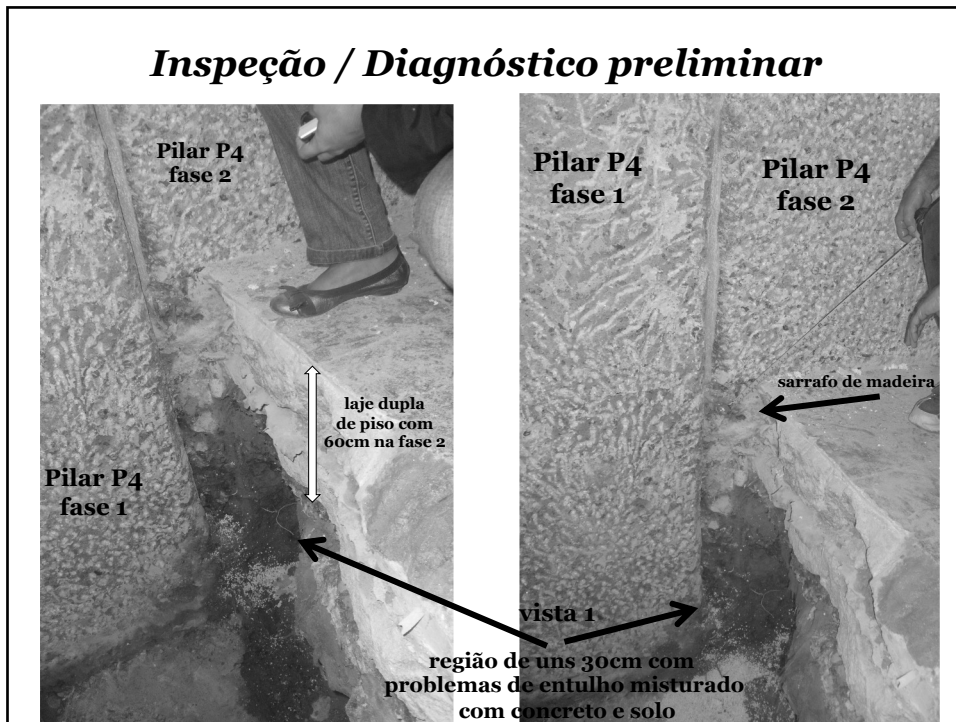
37



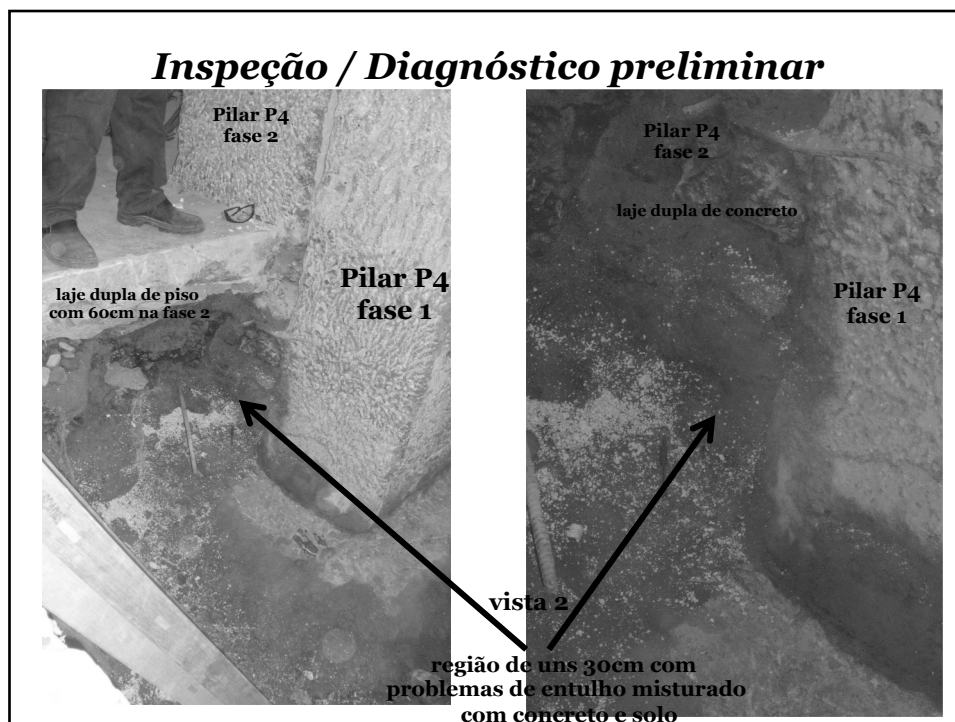
38



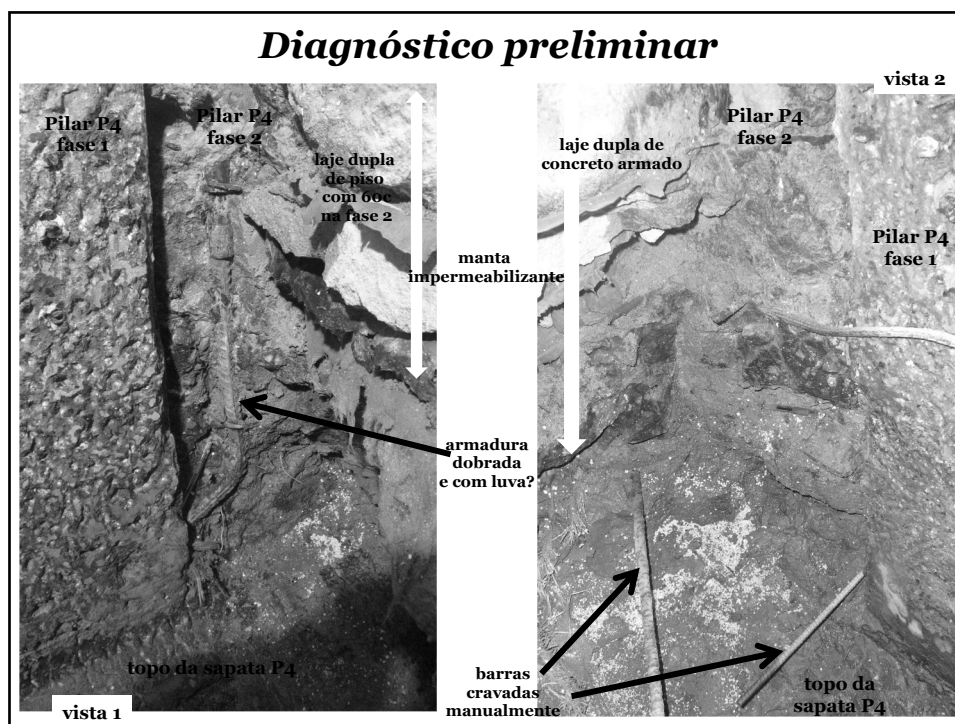
39



40



41



42

Inspeção



Controle contínuo de deslocamento vertical (recalque) dos pilares P4, P1A e P7

43

Inspeção

**nesse momento o grupo
encarregado da observação
da movimentação da
estrutura informou que os
selos de gesso romperam e o
pilar P4 fase 2 desceu
3mm!!**

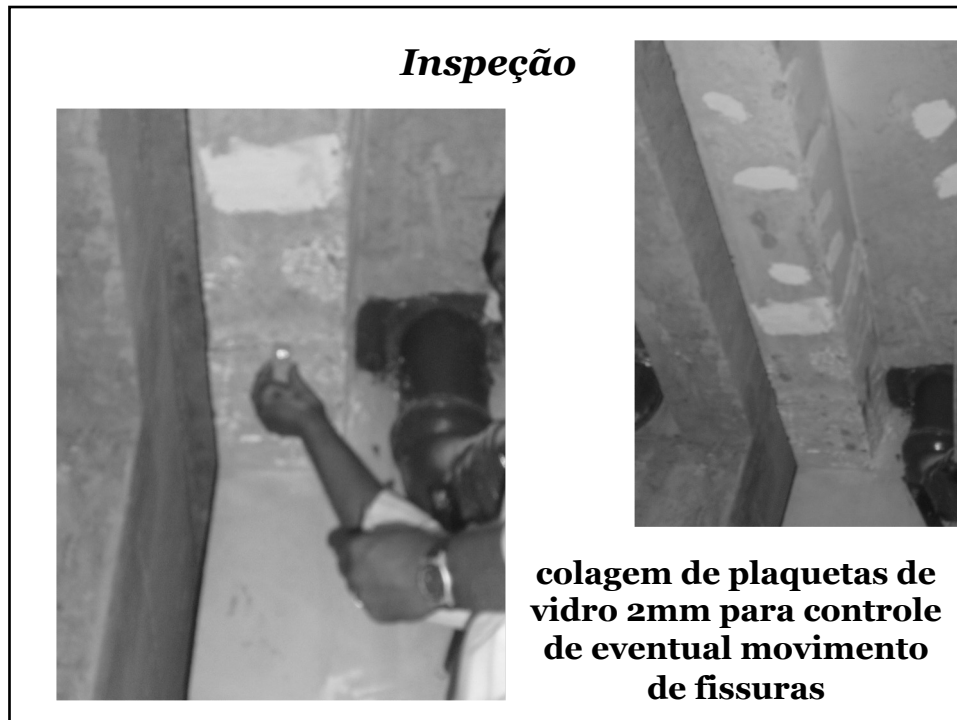
44



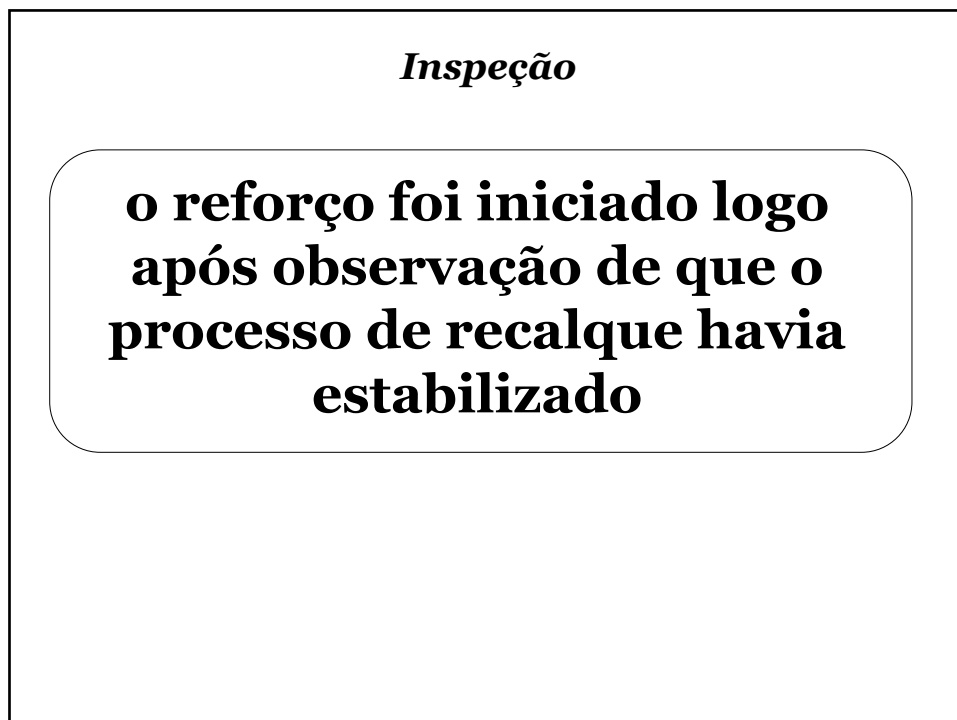
45



46



47



48

Procedimento Padrão para Reforço do Pilar P4 com Problema

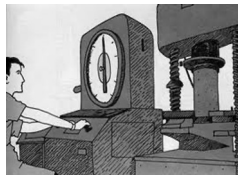
1. Inspeção / diagnóstico;
2. Escavação;
3. Preparação do substrato;
4. Montagem da armadura;
5. Preparação da fôrma;
6. Preparação do graute;
7. Concretagem;
8. Desfôrma;
9. Cura.

49

A origem e os intervenientes



**projetista
estrutural**



**tecnologista
de concreto**



**fornecedor do
material**



**construtor
(execução)**

***atribuição de responsabilidades
NBR 12655:2006***

50

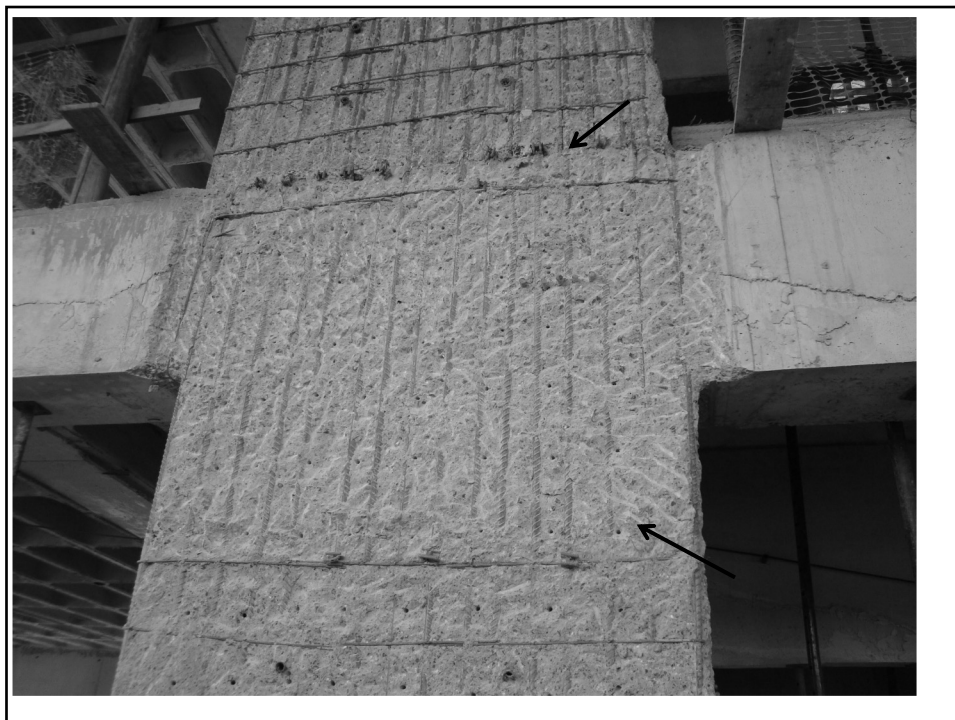
Edifício Habitacional

armadura de pilares *obra nova*

51



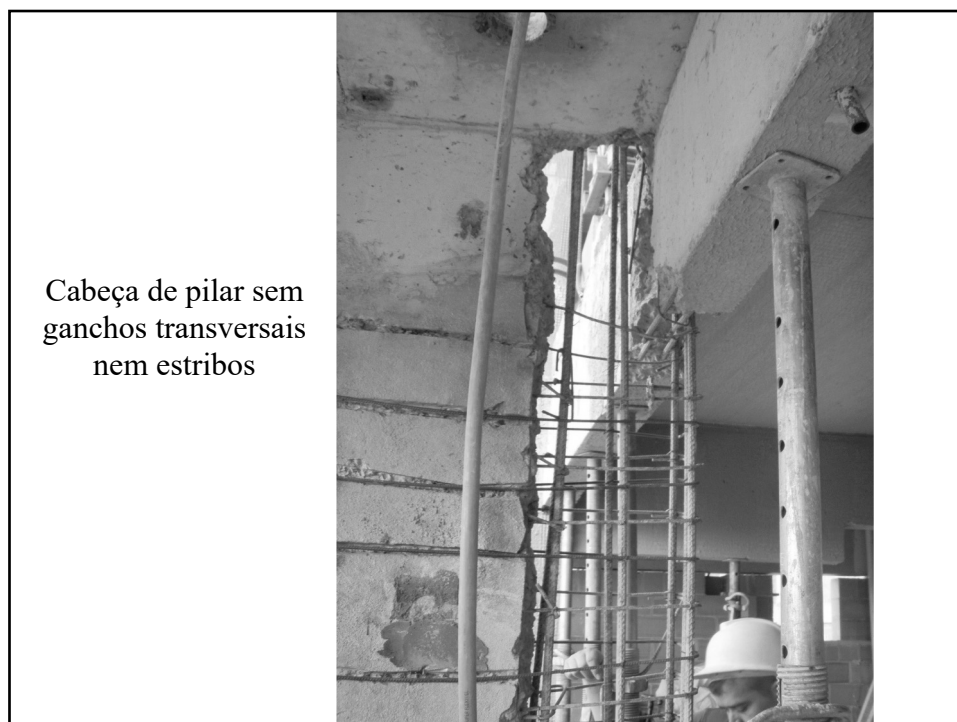
52



53



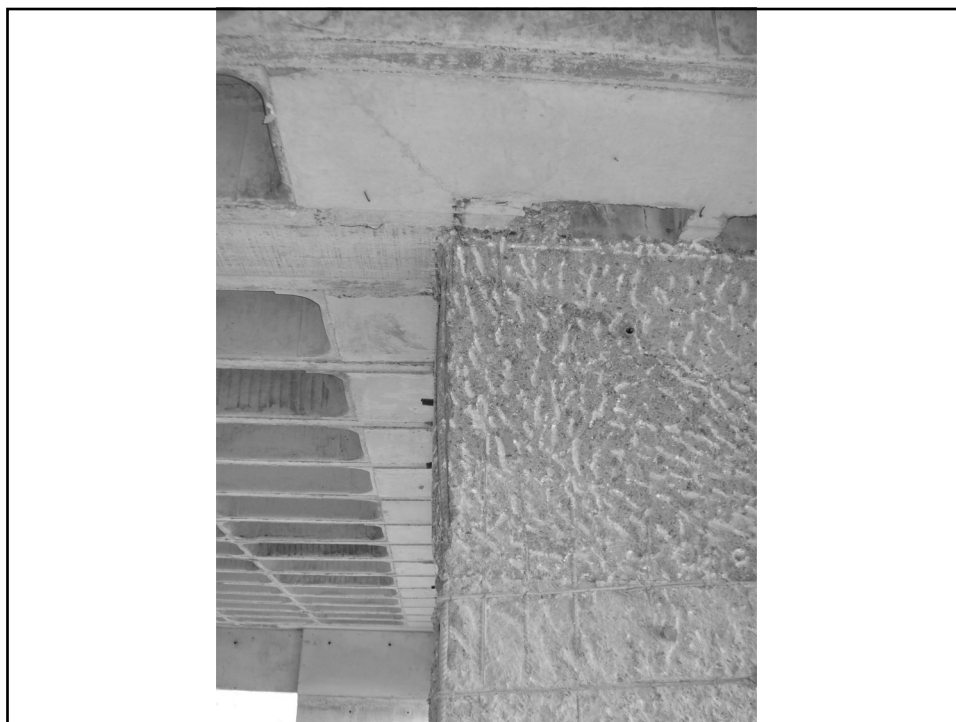
54



55



56



57



58

Qual o papel do Construtor?

59

- ✓ Tornar realidade um Projeto
- ✓ Compatibilizar sonhos (projetos)
- ✓ Realizar expectativas
- ✓ Liderar operários (dar o exemplo, saber fazer, dar importância ao que eles fazem)
- ✓ Não é gerenciar, nem projetar!

60

terceirizar um
serviço \neq
terceirizar
responsabilidade

61



62

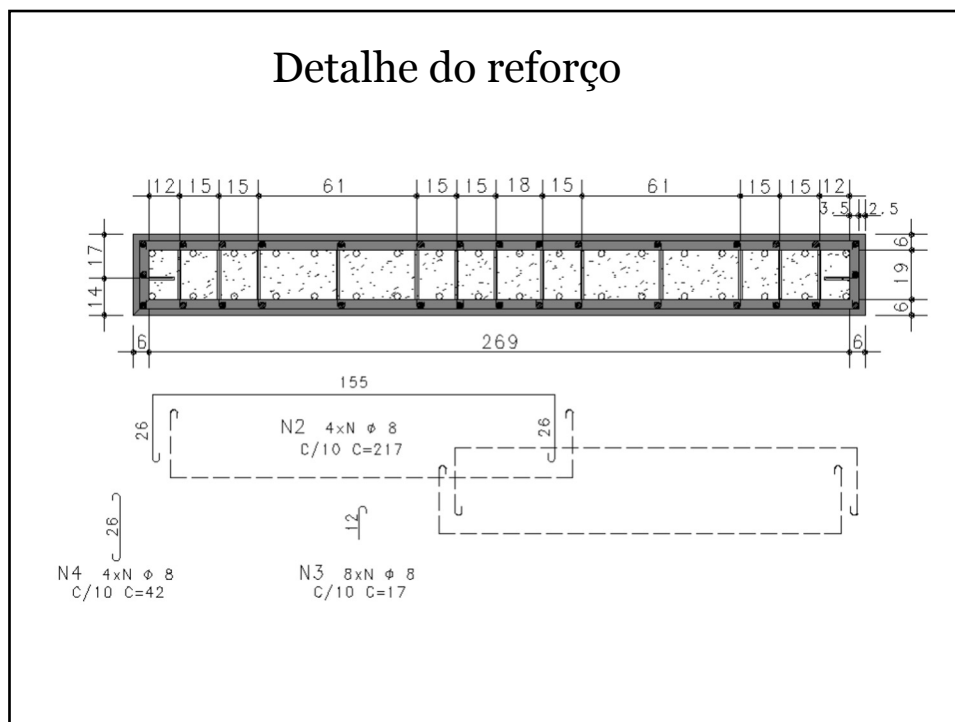


63

Solução adotada:

recompor a armadura transversal acrescentando estribos e ganchos passantes ao reforço, conforme critério da NBR6118:2007 – com espaçamento máx. de $20.\phi$

64



65



66

outro caso desastroso!

67

LEVANTAMENTO DE CAMPO DAS ARMADURAS PILARES				
PILAR	DIMENSÃO PILAR NO SUBSOLO (cm)	FERRO LONGITUDINAL EXECUTADO (QUANT./mm)	FERRO LONGITUDINAL PROJETADO (QUANT./mm)	diferença
01	(20 x 100)	10 Ø 12.5	14 Ø 10.0	+12 %
02	(30 x 50)	22 Ø 12.5	16 Ø 16.0	- 16 %
03	(20 x 100)	48 Ø 16.0	50 Ø 16.0	- 4 %
04	(20 x 100)	24 Ø 16.0	36 Ø 16.0	- 33 %
05	(30 x 50)	24 Ø 12.5	18 Ø 16.0	- 19 %
06	(20 x 100)	10 Ø 12.5	14 Ø 10.0	+12 %
07	(20 x 70)	10 Ø 10.0	10 Ø 10.0	-----
08	(20 x 70)	08 Ø 12.5	08 Ø 10.0	+ 56 %
09	(25 x 80)	28 Ø 16.0	20 Ø 20.0	- 10 %

68

Registrado em 06 de abril de 2011.
Livro: 010/ENG.

				diferença
10	(20 x 100)	34 Ø 12.5	34 Ø 16.0	- 39 %
11	(25 x 125)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	+5 %
12	(25 x 178)	38 Ø 10.0	38 Ø 10.0	-----
13	(25 x 178)	16 Ø 16.0	38 Ø 10.0	+8 %
14	(25 x 125)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	+0,5 %
15	(20 x 218)	34 Ø 10.0	34 Ø 10.0	-----
16	(20 x 218)	Ø 10.0	34 Ø 10.0	-----
17	(20 x 70)	10 Ø 10.0	10 Ø 10.0	-----
18	(30 x 70)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	+0,5 %
19	(30 x 70)	08 Ø 16.0	20 Ø 10.0	+2 %
20	(20 x 70)	08 Ø 12.5	08 Ø 10.0	+56 %
21	(20 x 70)	12 Ø 12.5	30 Ø 10.0	- 37 %
22	("25" x 100)	42 Ø 16.0	30 Ø 20.0	- 10 %
23	("25" x "208")	34 Ø 12.5	76 Ø 10.0	- 30 %
24	("25" x 100)	42 Ø 16.0	34 Ø 20.0	- 21 %
25	(20 x 70)	08 Ø 12.5	16 Ø 10.0	- 22 %

Obs: Foi constatado que todos os estribos possuíam bitolas de 4.2mm com espaçamento entre eles de 15cm exceto o pilar P15 que possui estribos de 6.3mm e espaçamento igual aos demais.

69



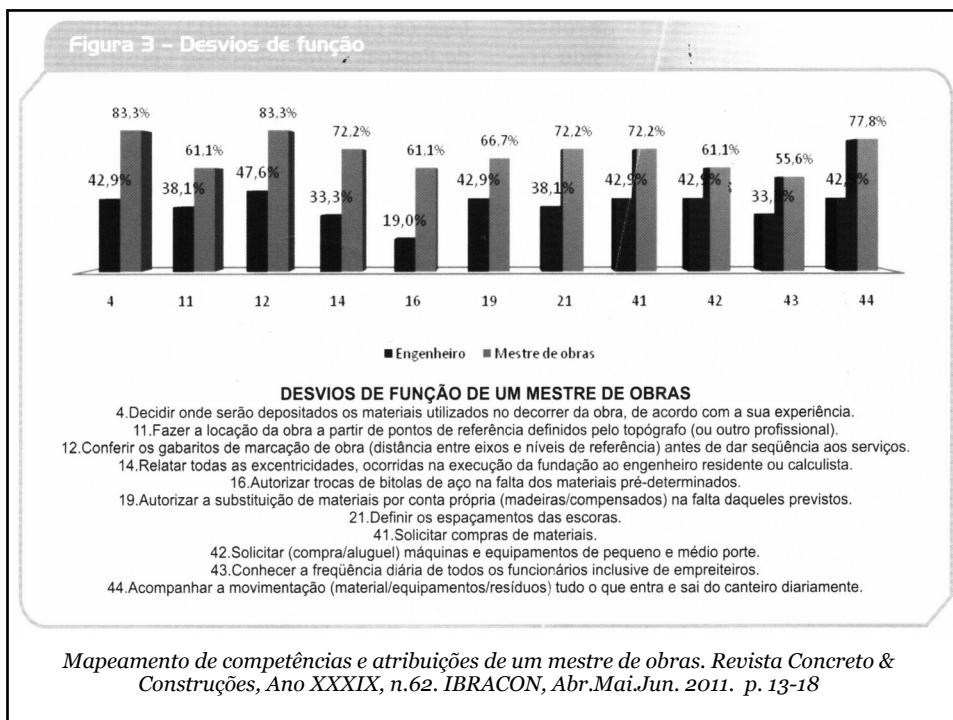
70

Edifício Real Class

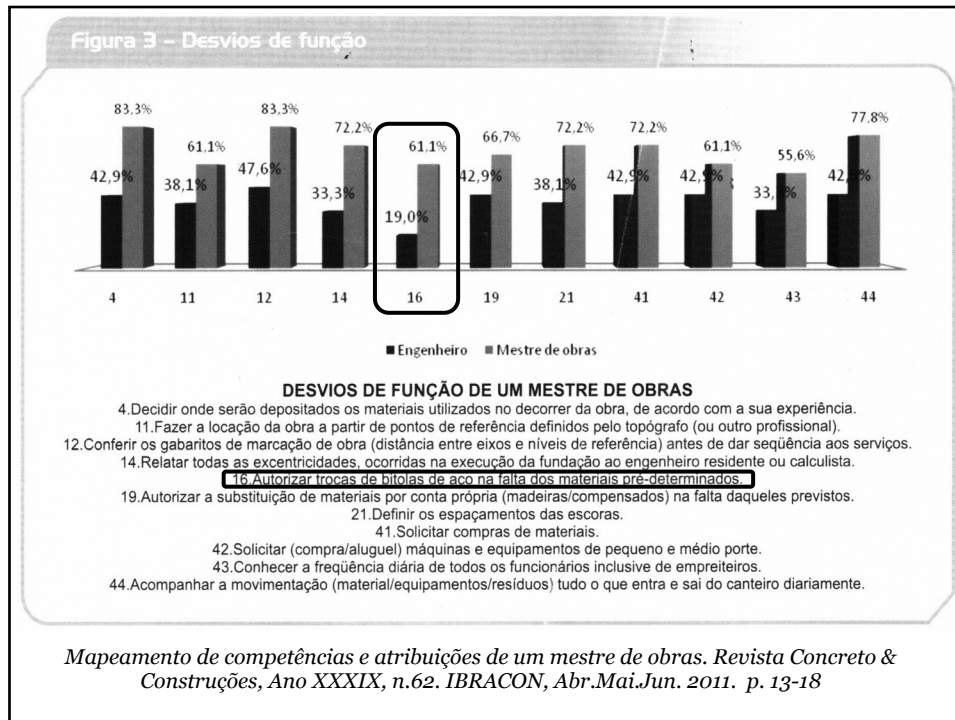



Belém do Pará
34 pavimentos
105m 20.01.2011 35MPa

71



72

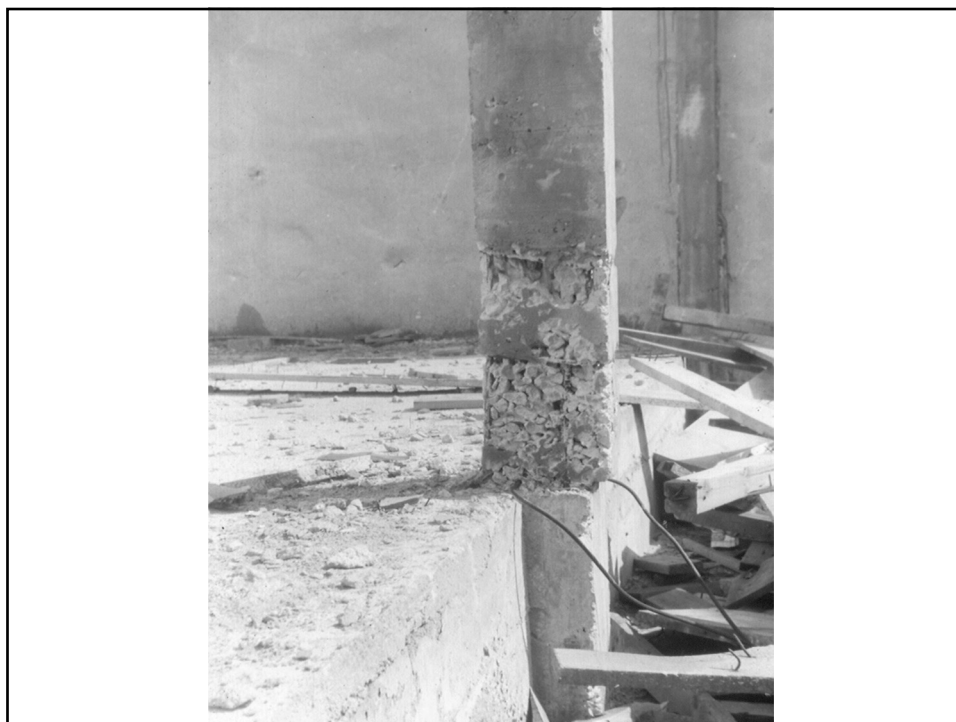


73

Edifício Habitacional

concretagem de pilares *obra nova*

74



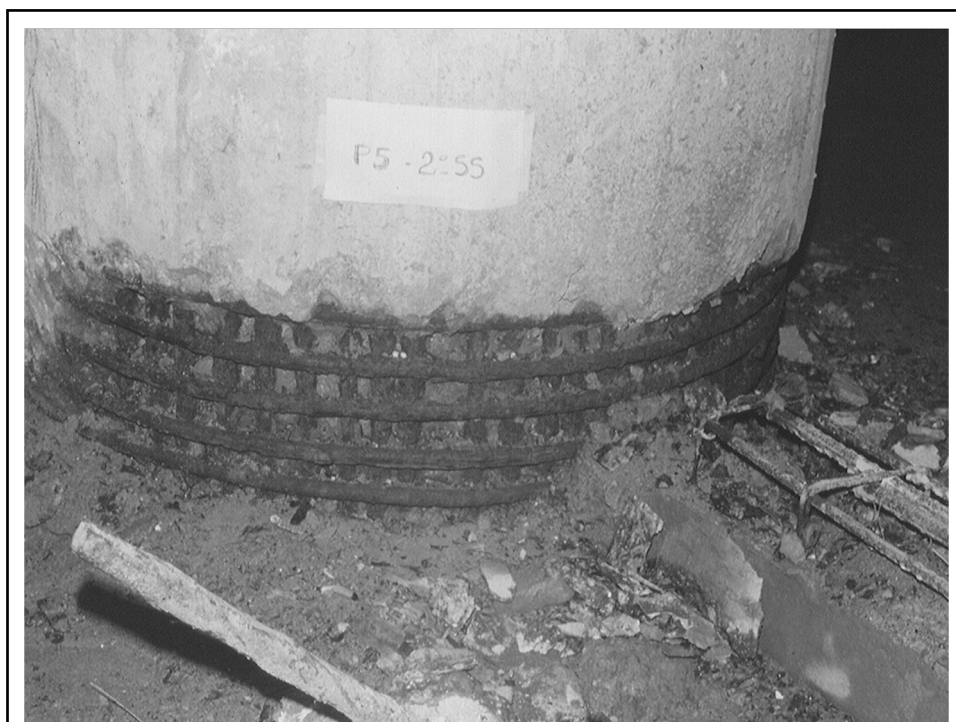
75



76



77



78



79

CONSTRUTOR

precisa ter consciência
de que a consequência
de seus atos pode levar
anos para aparecer!

80

Edifício Areia Branca

Recife, Pernambuco
14 de outubro de 2004
quinta-feira às 20:30h
1977 → 1979
25 anos
12 andares + térreo + 1 garagem

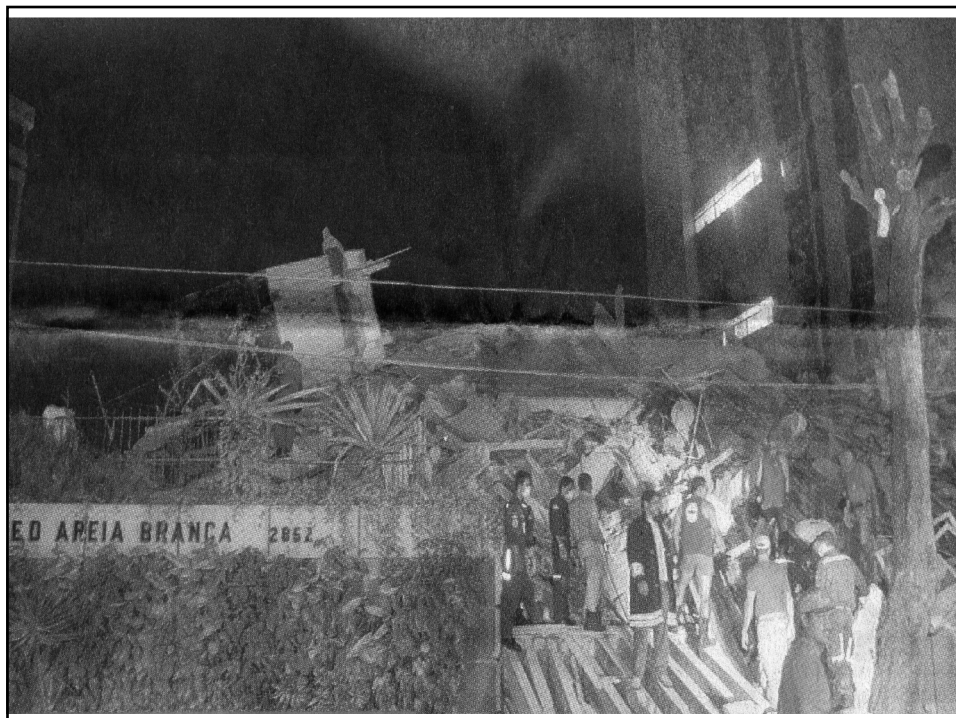
81



EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes

82



83



Escombros - manhã seguinte do desabamento

84



85

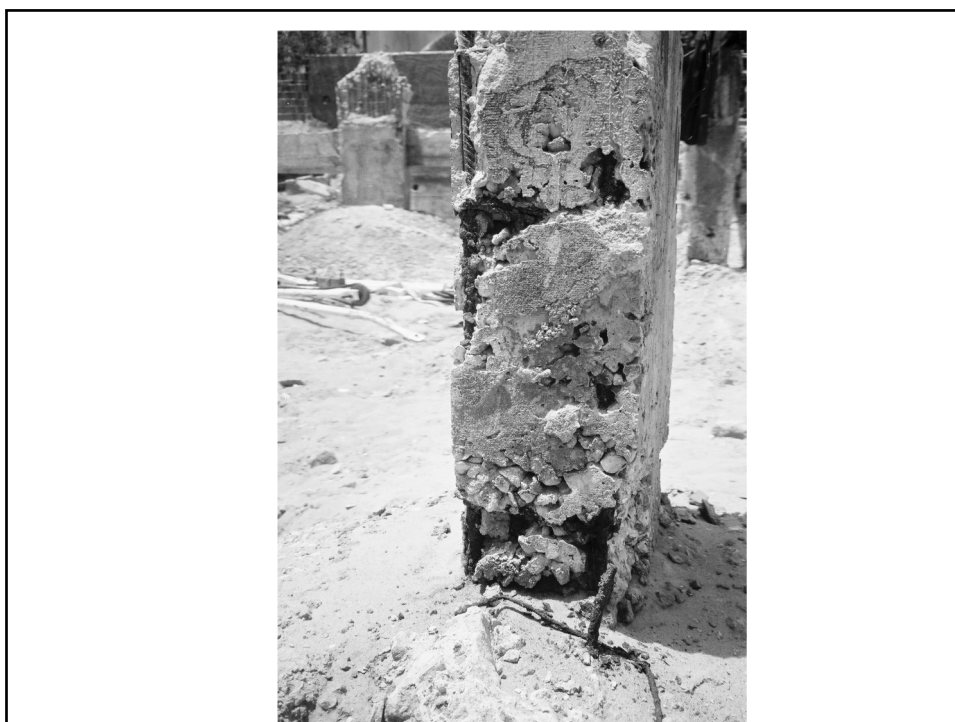


Edificações Vizinhas

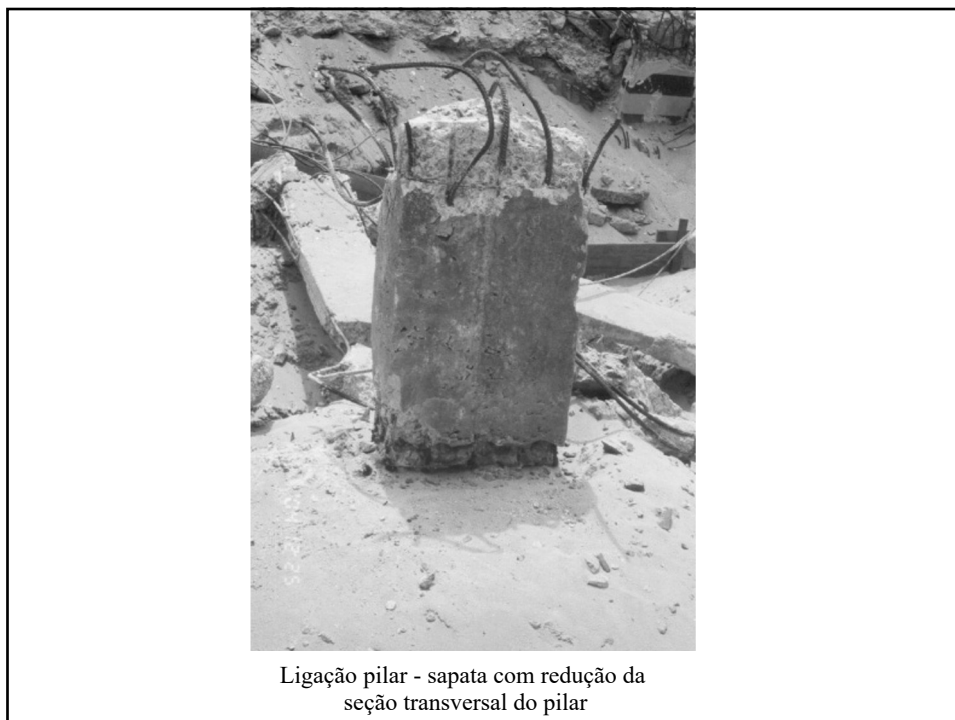
86



87



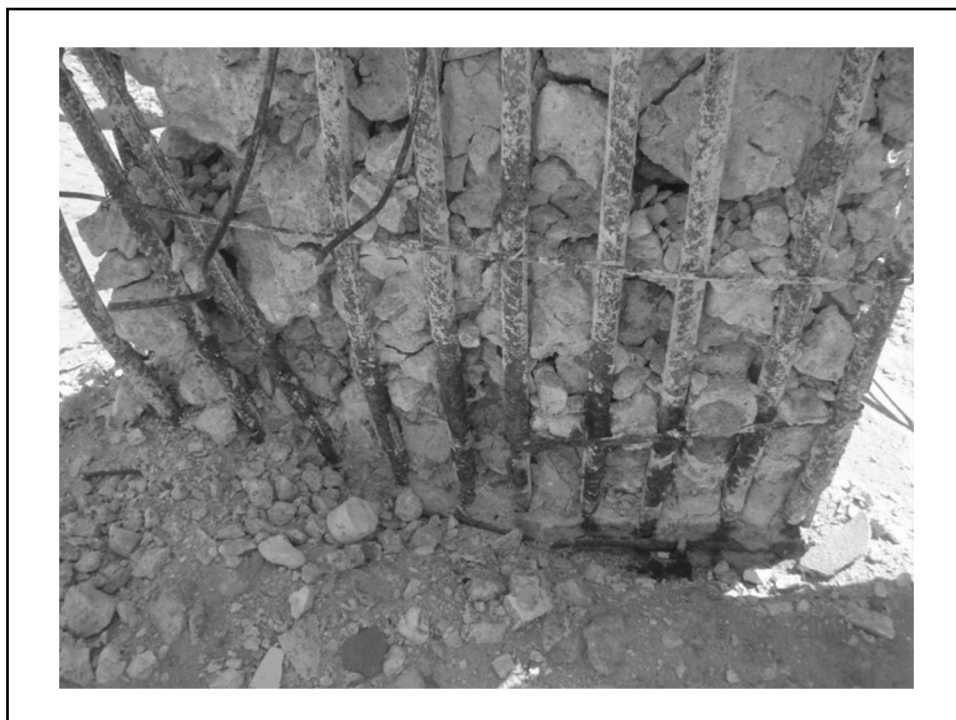
88



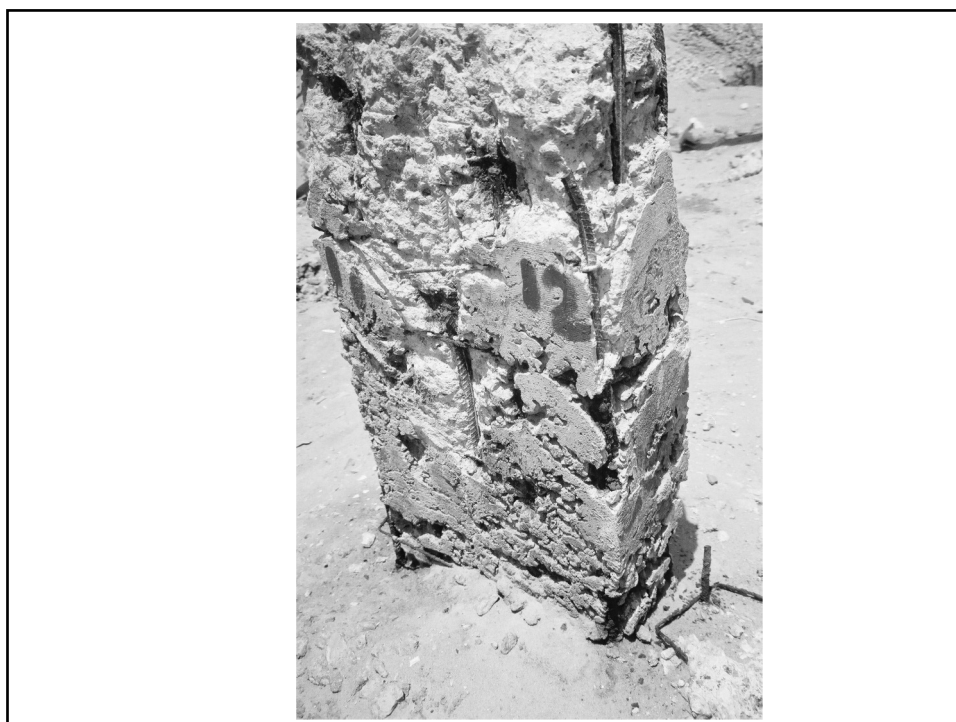
89



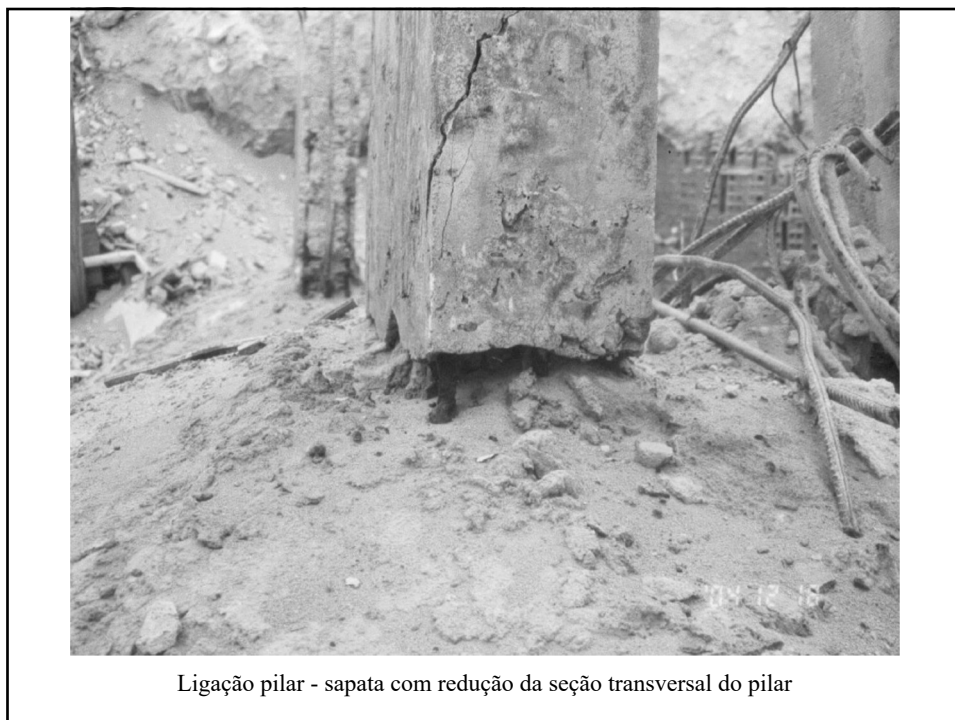
90



91



92



93



94

Edifício Solar da Piedade
vizinho ao
Areia Branca
Recife, Pernambuco
novembro de 2004
inspeção impede colapso

95



Edifício Solar da Piedade, Boa Viagem, Recife PE

96



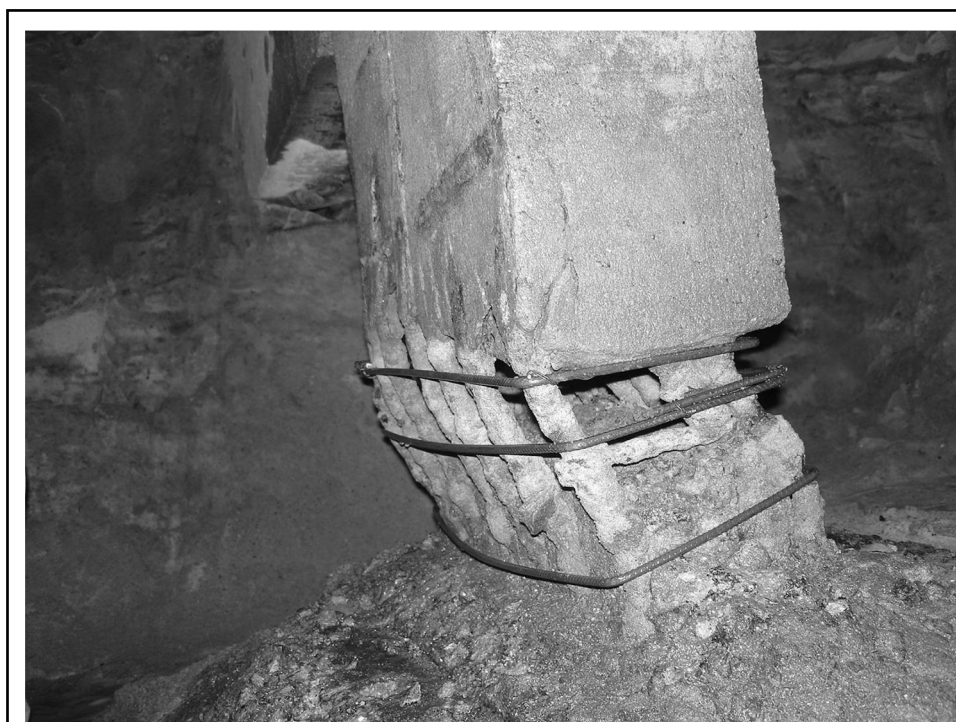
97



98



99



100

CONSTRUTOR

precisa ter consciência
de que as consequências
de seus atos podem ser
desastrosas e onerosas!

101

Shopping Center

bicheiras e ninhos de
concretagem em vigas

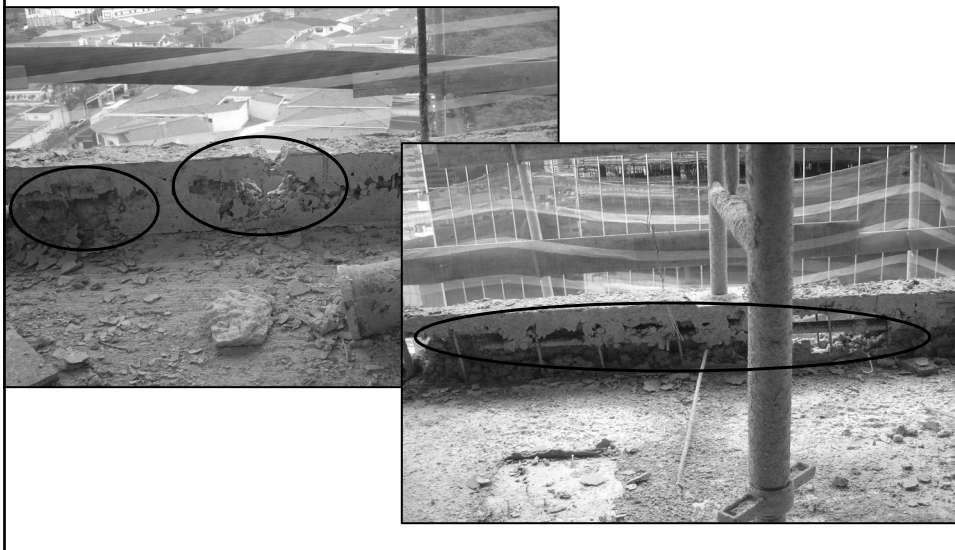
102

Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)



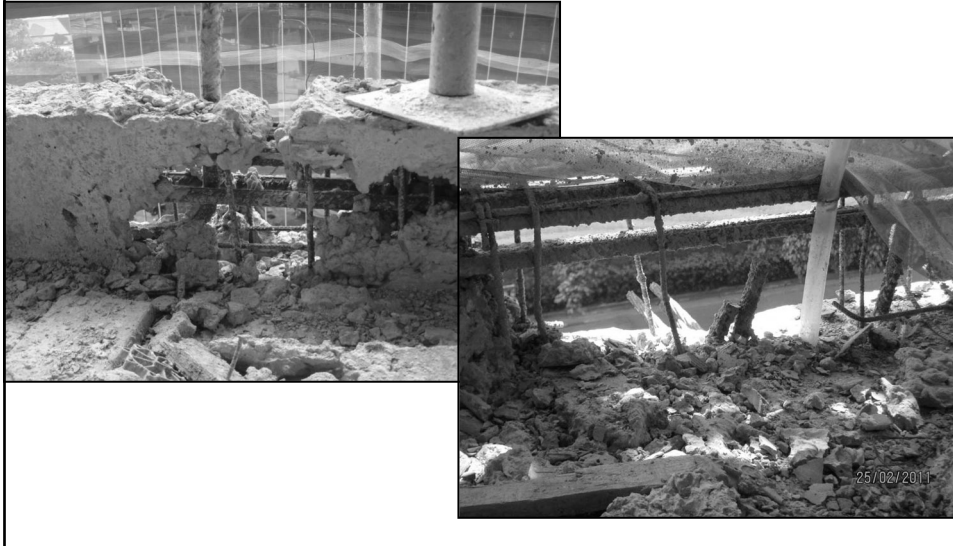
103

Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)



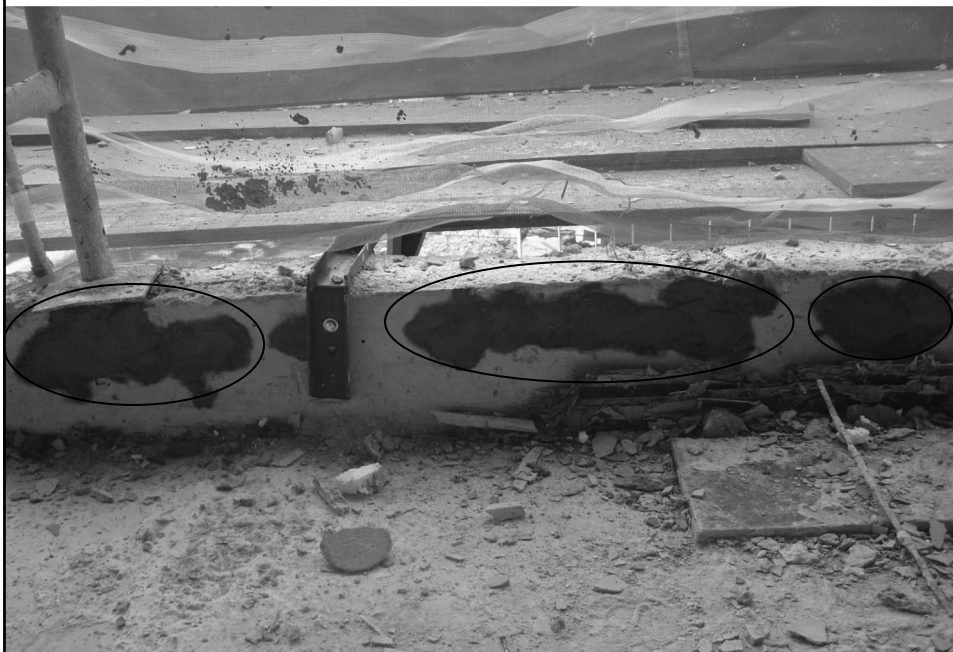
104

Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)

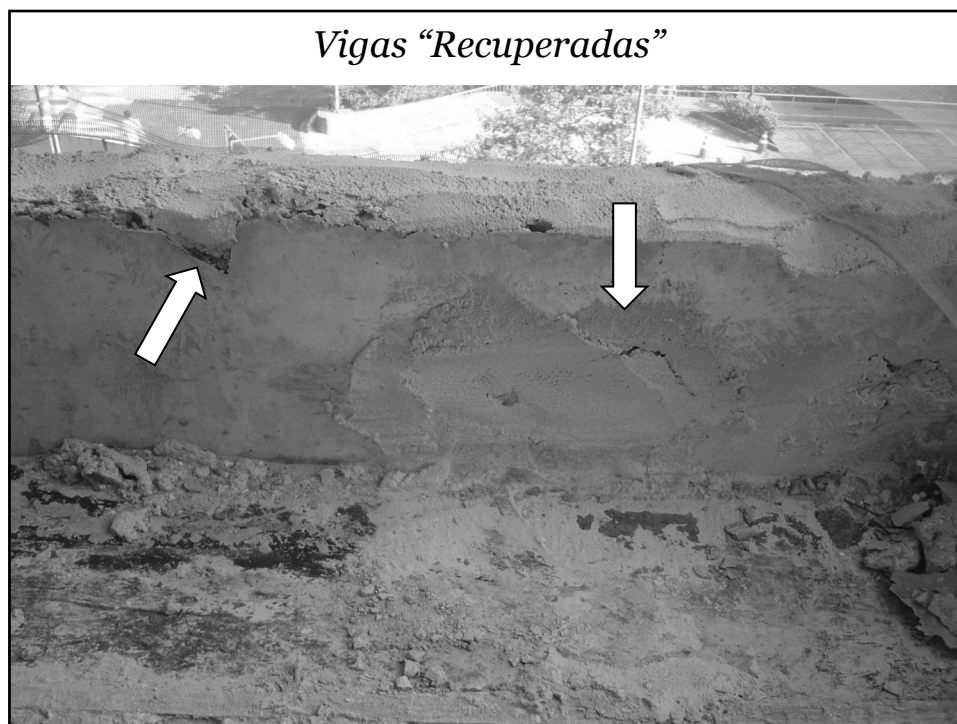


105

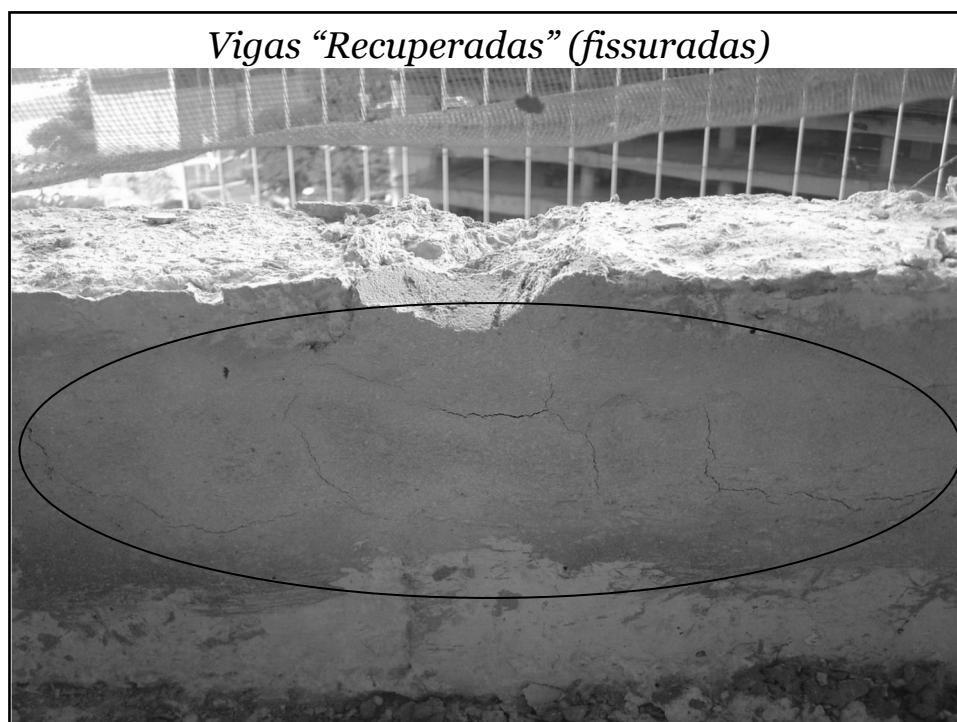
“Recuperação” das Bicheiras com Argamassa Comum



106



107



108

Edifício Emblemático
Alphaville, São Paulo
50MPa
35 andares
Comercial
ninho de concretagem

109



110



111



112



113



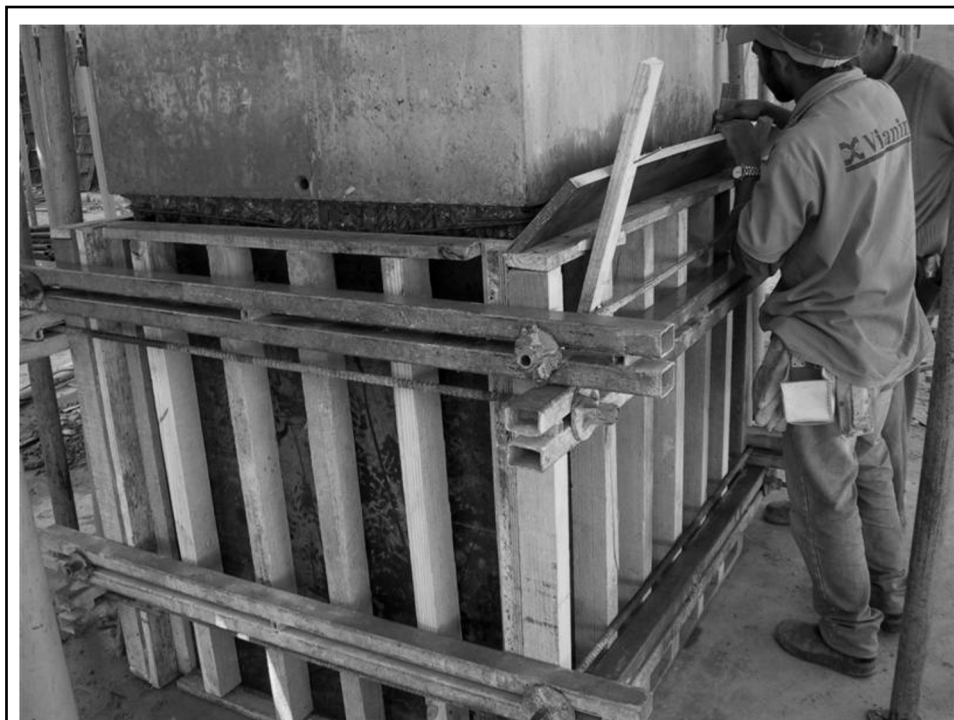
114



115



116



117



118

alinhamento de pilares, excentricidade

119

Pilar executado com um tramo deslocado dos demais em 8cm:



8cm

The diagram shows a small arrow pointing downwards and to the left, with the text '8cm' positioned above it, indicating a specific displacement or offset.

120



121

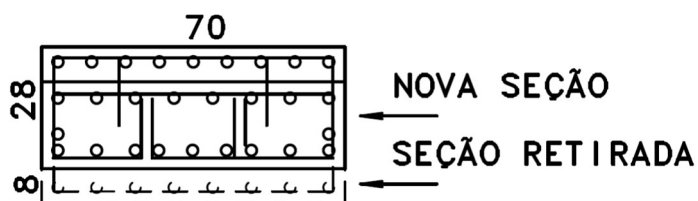


122

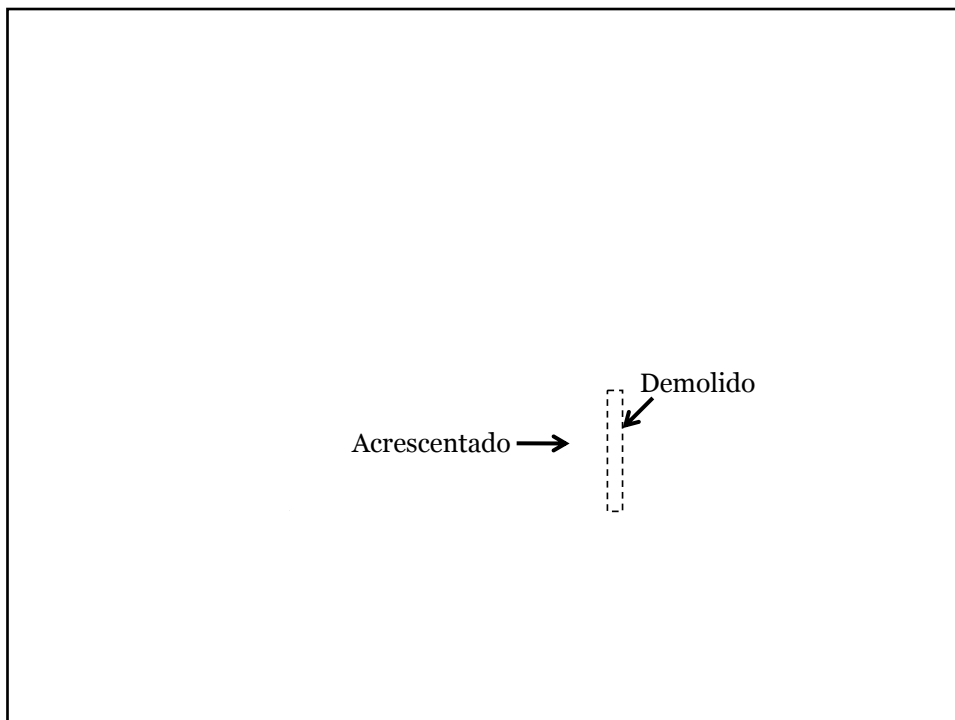


123

Solução: Demolição do excedente e aumento da seção do lado oposto para trazer o pilar a sua posição original de projeto.



124



125



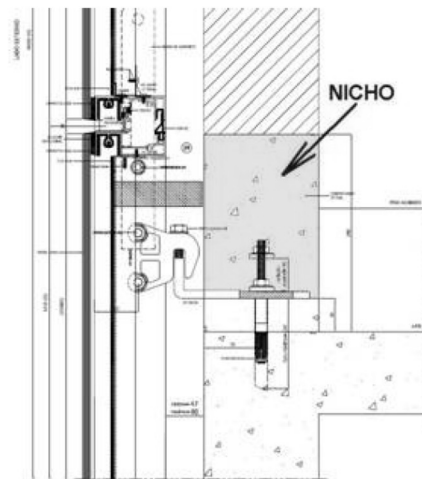
126

Compatibilidade de Projetos

127

Incompatibilidade de Projetos (estrutura x caixilhos)

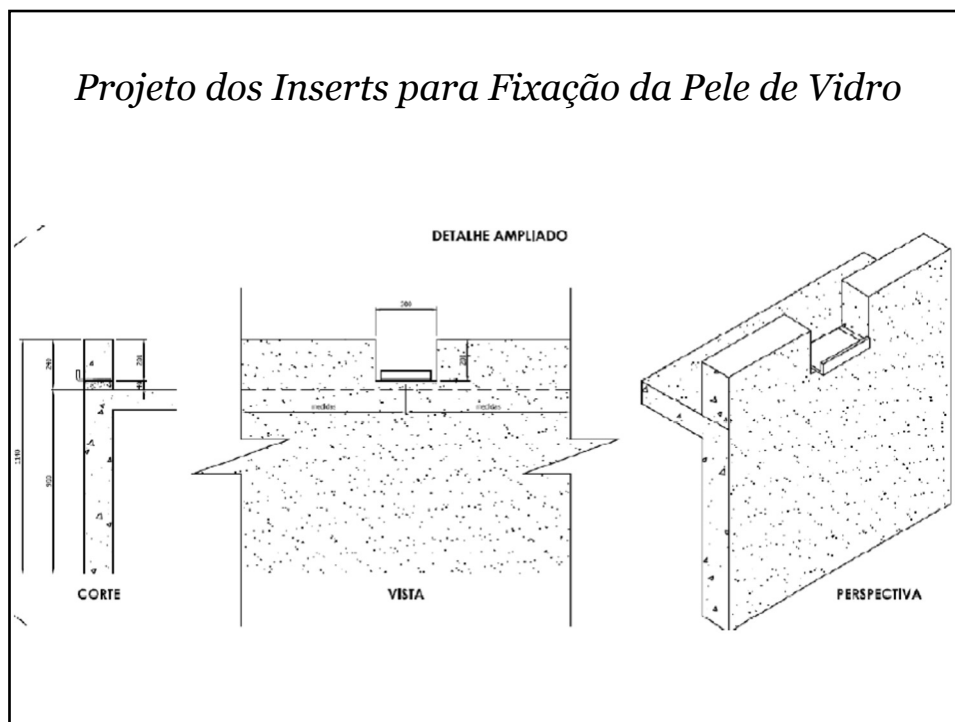
- Não foi analisado em conjunto o projeto de caixilho e o projeto da estrutura;
- As vigas invertidas foram quebradas para inserir os inserts de fixação da pele de vidro na fachada;



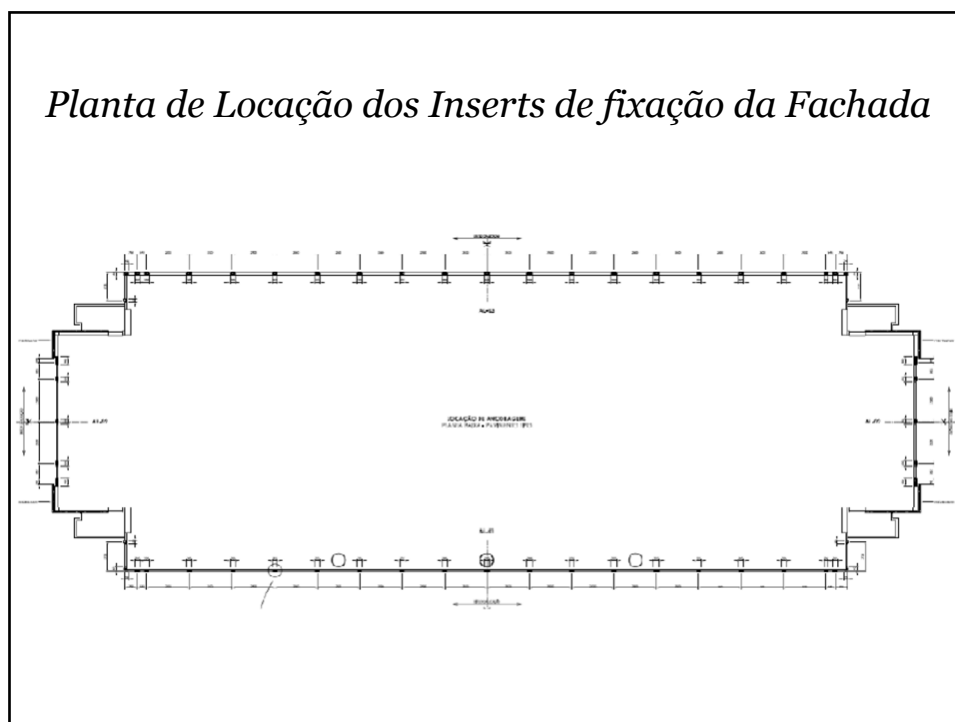
Projeto do Caixilho →

Detalhe do nicho e ancoragem

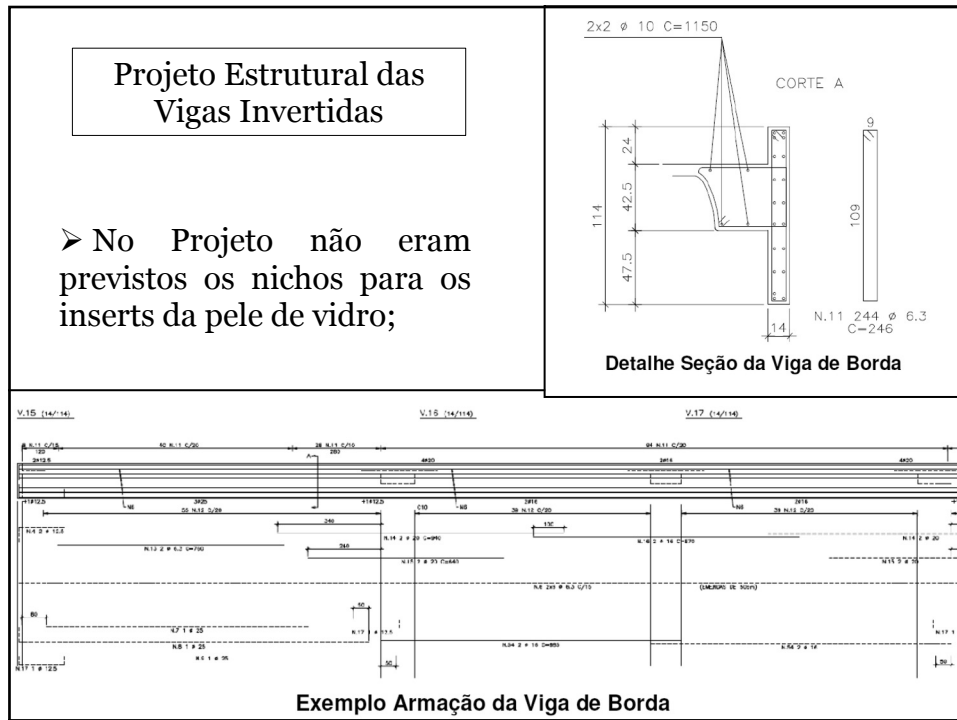
128



129



130



131



132

Vigas sendo Demolidas e Cortadas suas Armaduras sem Consentimento do Projetista



133

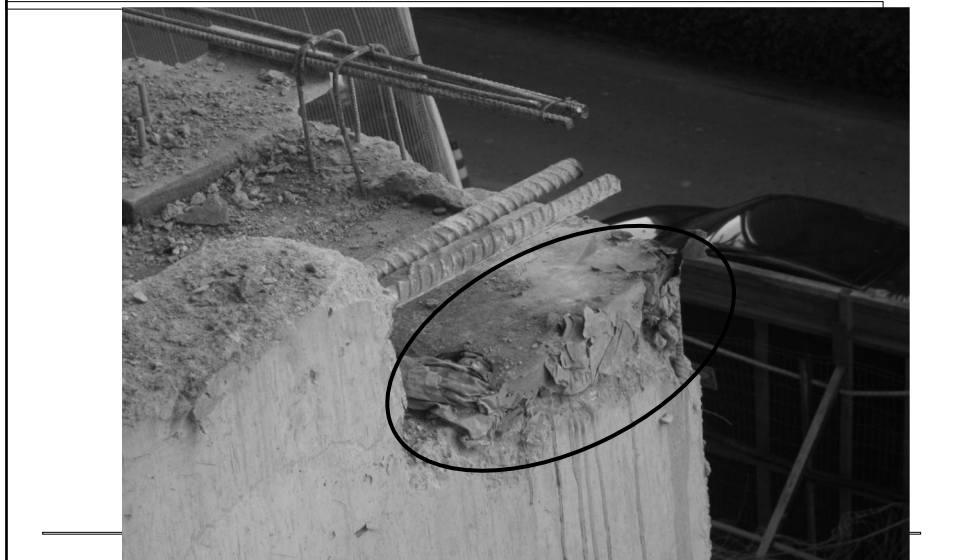


134

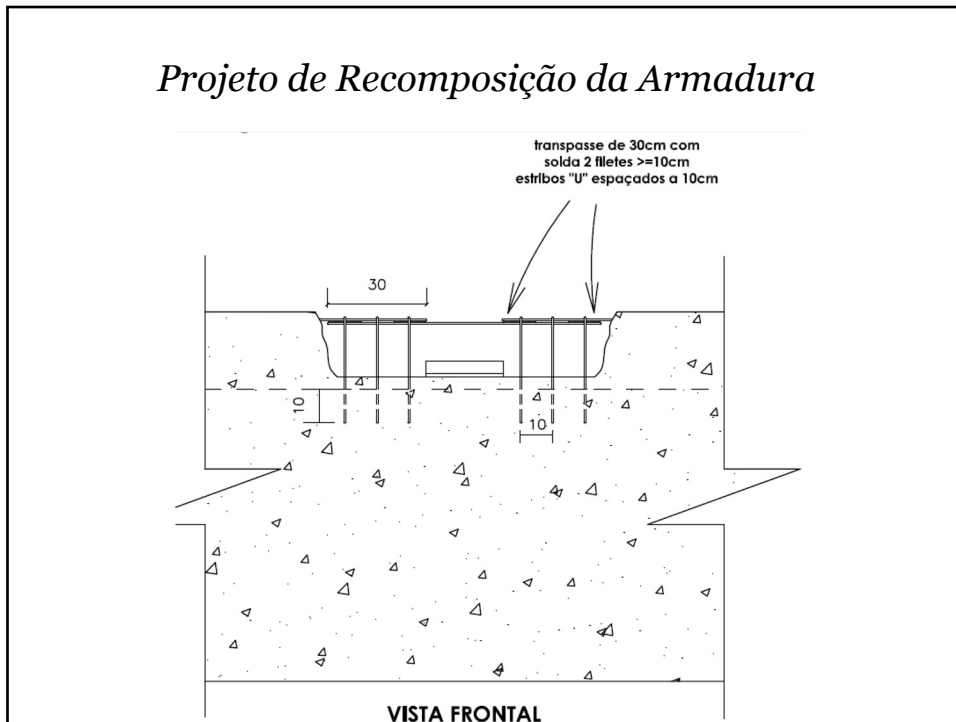


135

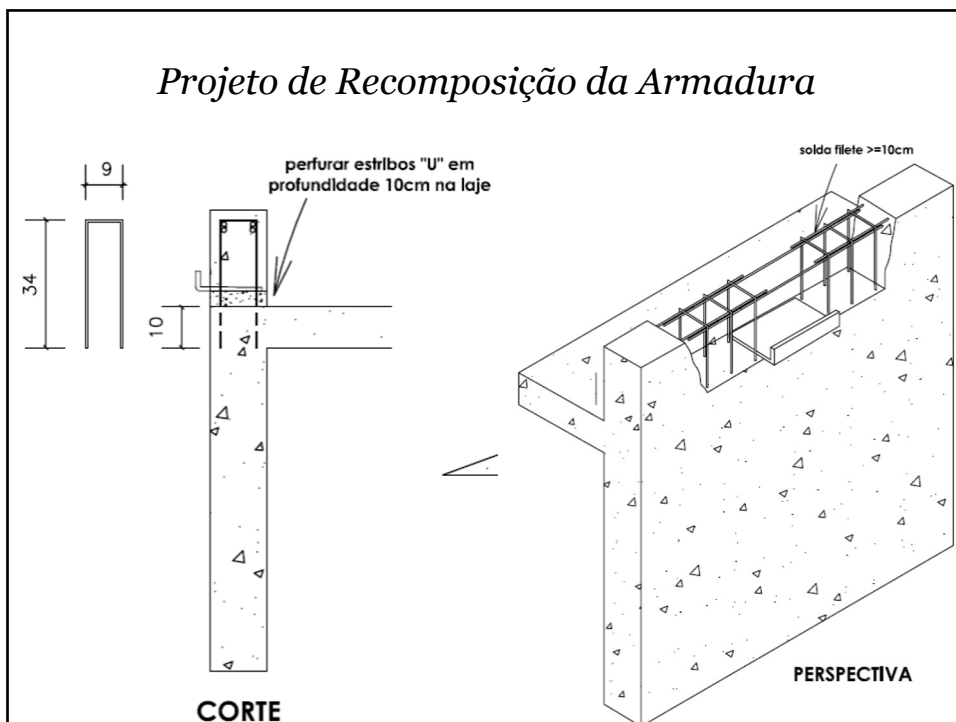
Recomposição com Graute e Sacos de Papel Vazios



136



137



138



Reconstituição das armaduras

IBRACON



139

Recomposição das Armaduras Cortadas



140

CONSTRUTOR

Não entendeu → PERGUNTA

Não achou o detalhe → COBRA

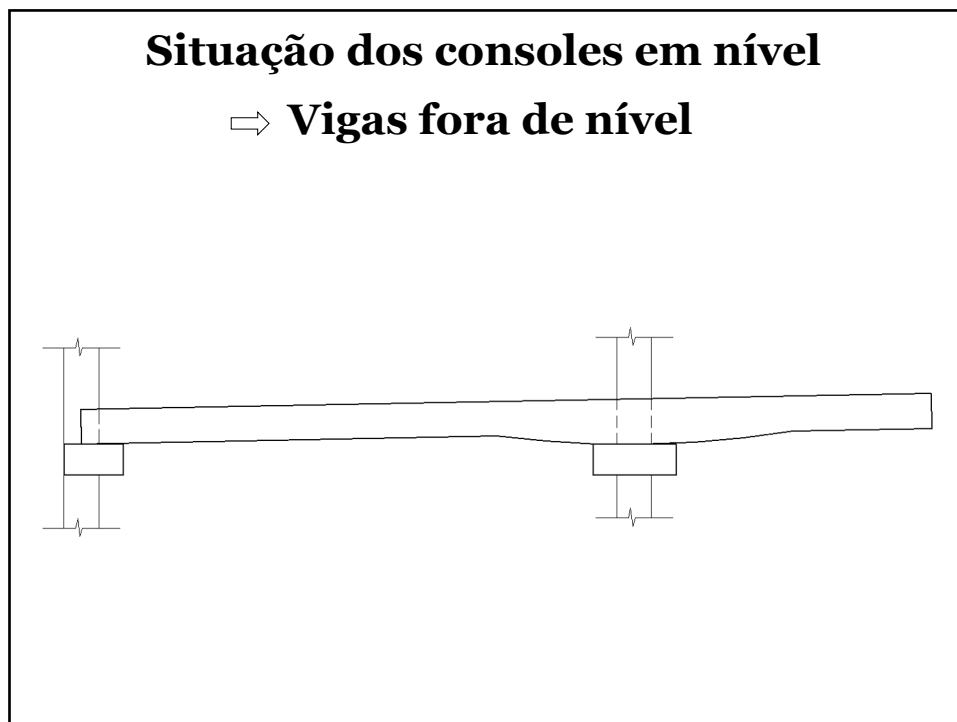
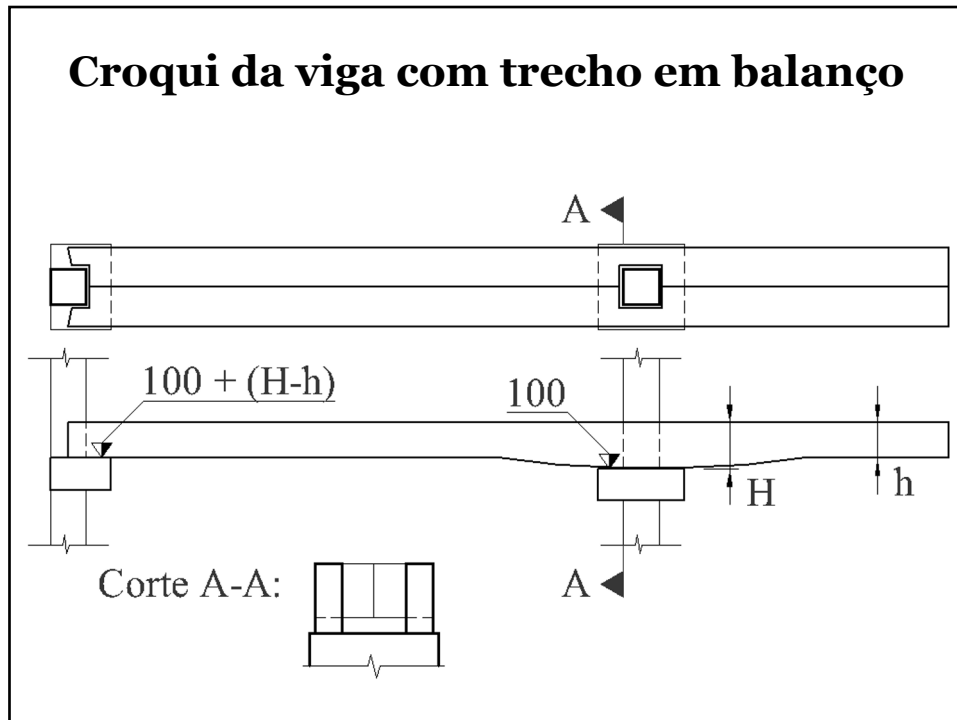
Deve estudar os projetos e
antecipar-se aos problemas!

141

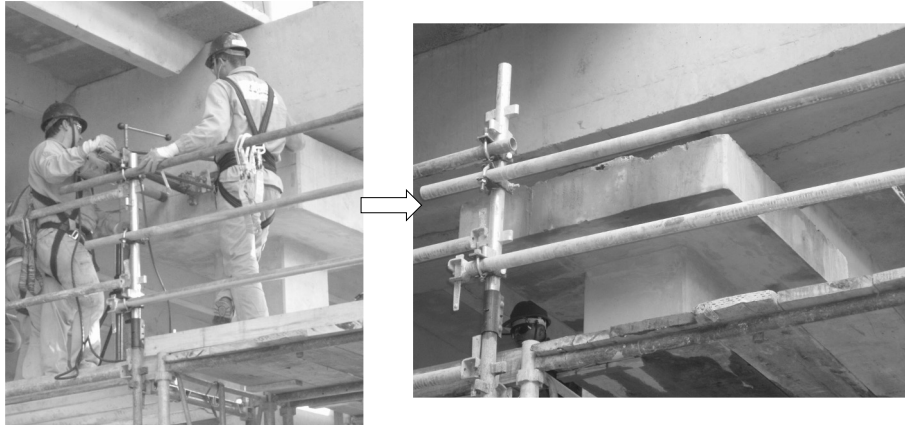
Caso dos capitéis com cota incorreta



142



Macaqueamento da viga e corte parcial do console



145

Apicoamento superfície do console



146

Armadura adicional do console fôrmas + grauteamento



147

Custos

Segundo o Engenheiro da Construtora o custo direto da correção desse problema foi de 250 mil reais e atraso estimado de 10 dias, graças a uma manobra de remanejamento das equipes de montagem para outros setores da obra.

148

Lições Aprendidas

1. É melhor aprender com os erros dos outros;
2. Sem conhecimento não há evolução;
3. Vale a pena desenvolver o prazer por aprender;
4. Sempre é bom pensar holísticamente.

149

**Qual a
MISSÃO do
Construtor?**

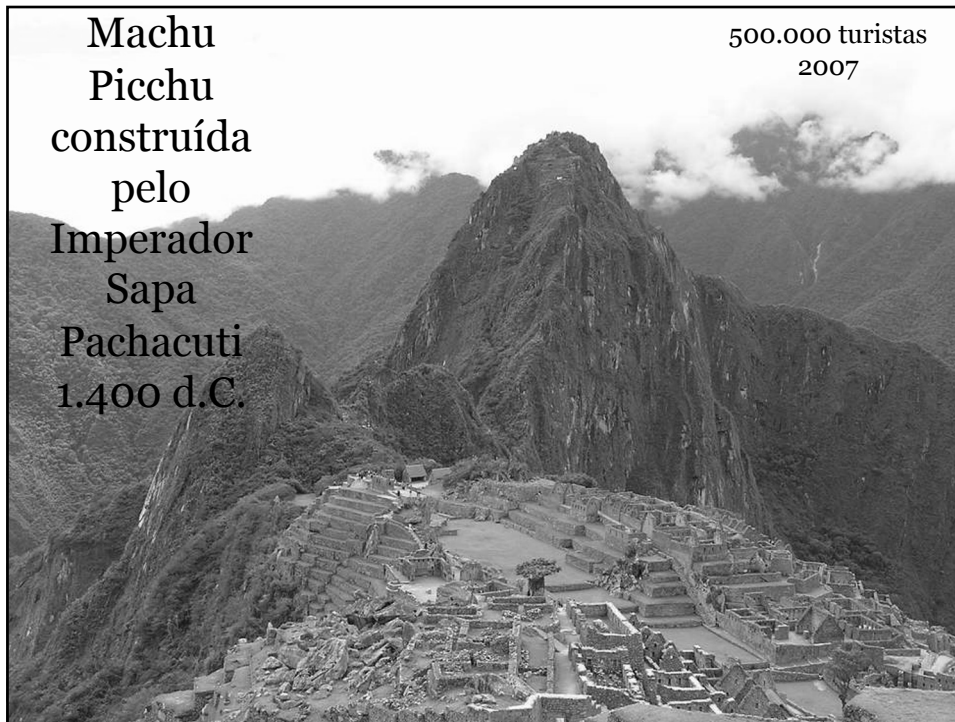
150



151



152



153



154



155

O CONCEITO DE CONSTRUIR COM DURABILIDADE EXISTE NAS OBRAS DESDE A ANTIGUIDADE

razão áurea $C/L = 1,618$ número phi (Phidias)

Arquitetos Ictinos de Mileto e Calícrates (*escultor Fídias*)



Pártenon, 440 aC
“século de Péricles”

156



157

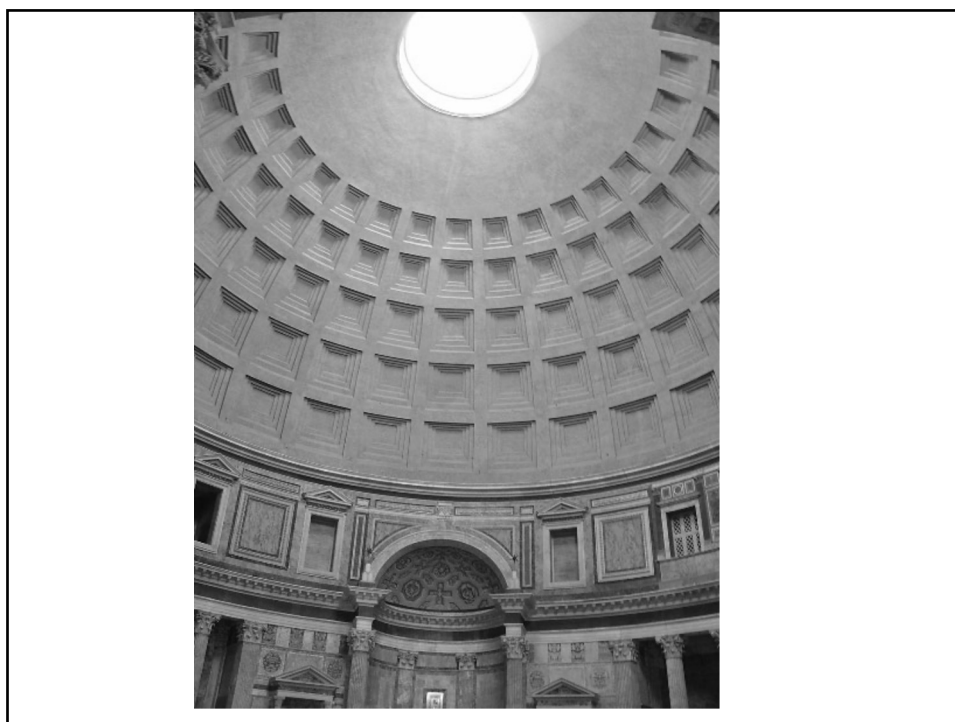


158

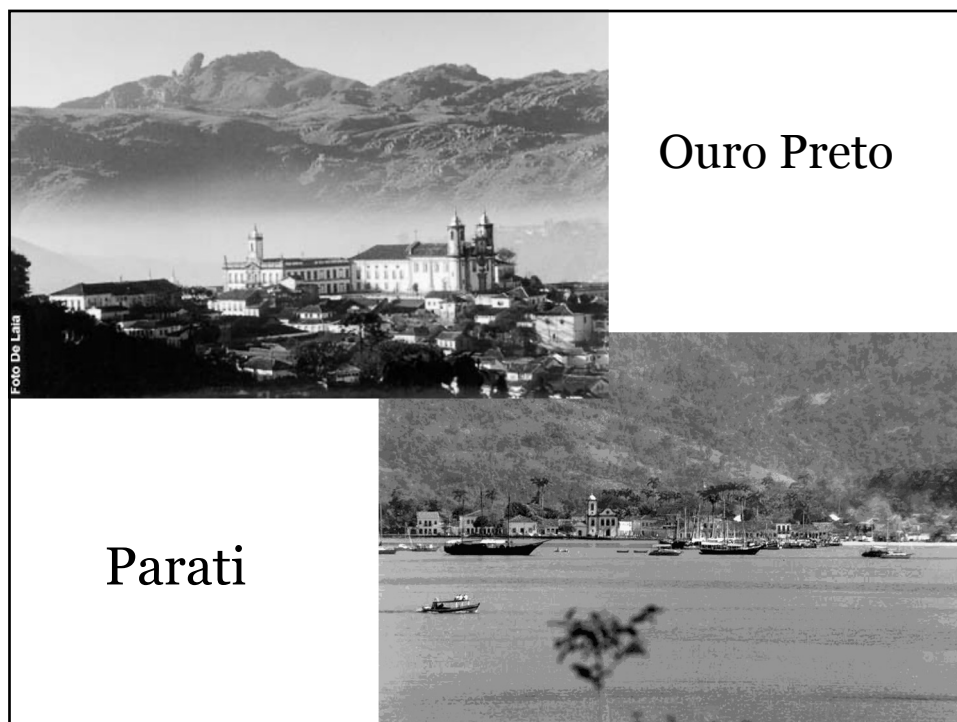
Cúpula do Panteão de Roma
Século II dC → Diâmetro de 44m



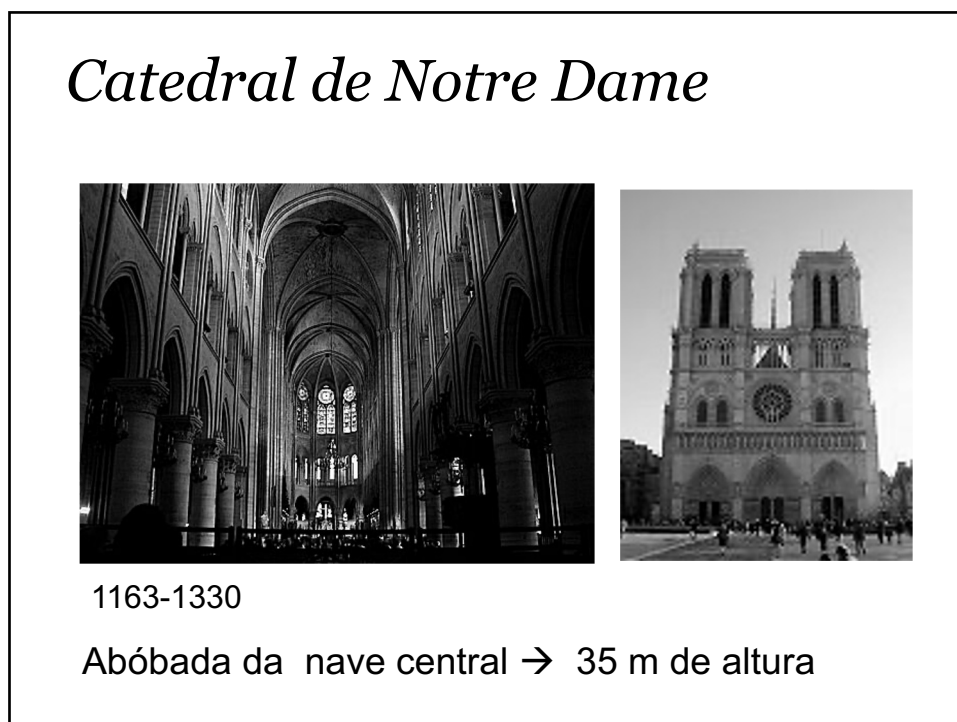
159



160



161



162

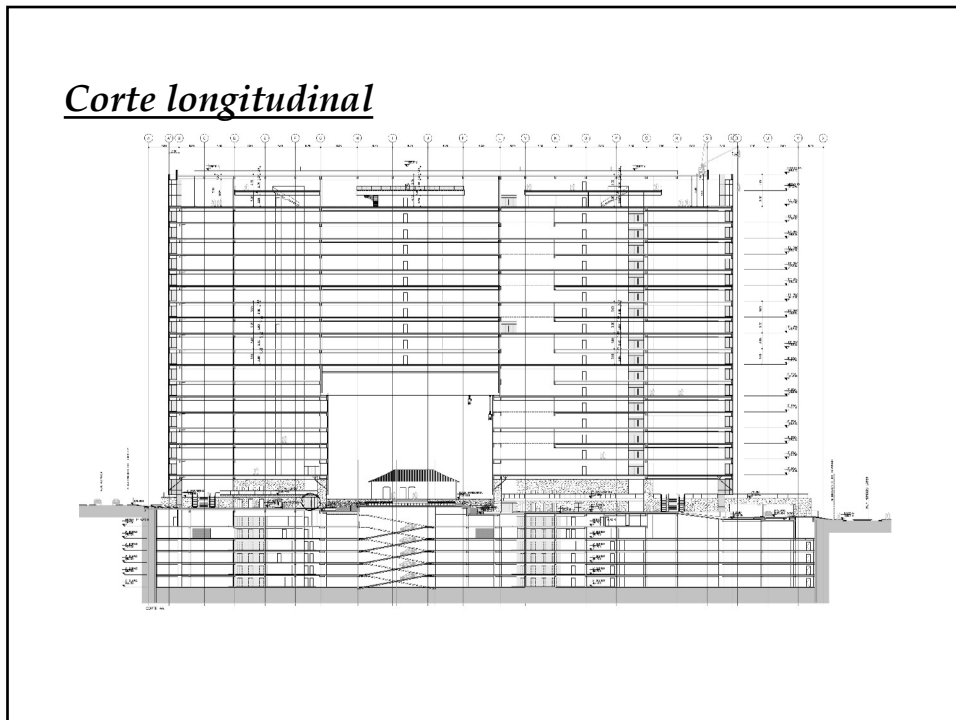


163

Qual a MISSÃO do Construtor?

- ✓ Sem dúvida a mais nobre
- ✓ Sem dúvida a mais importante
- ✓ Sem dúvida a mais difícil
 - ✓ Sem dúvida a mais cara
 - ✓ Sem dúvida a de maior responsabilidade

164



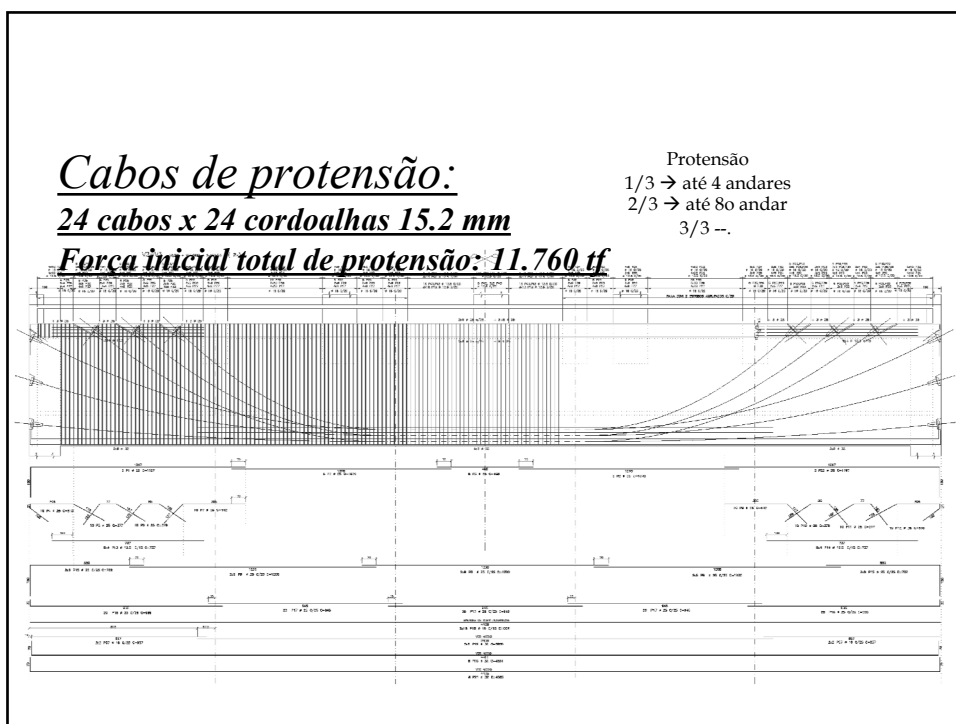
165



166



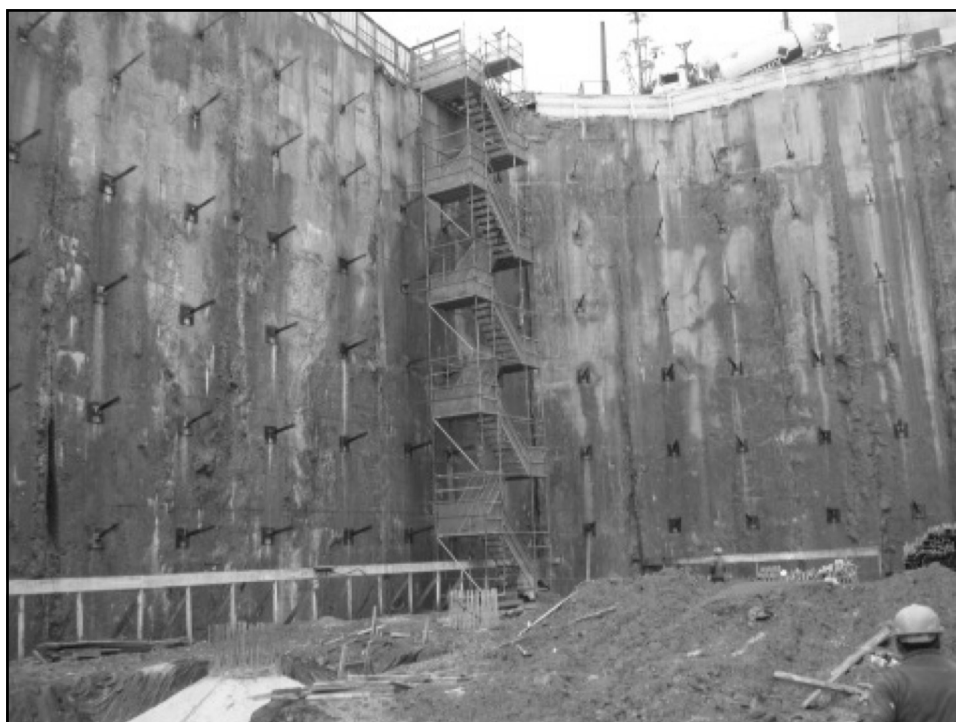
167



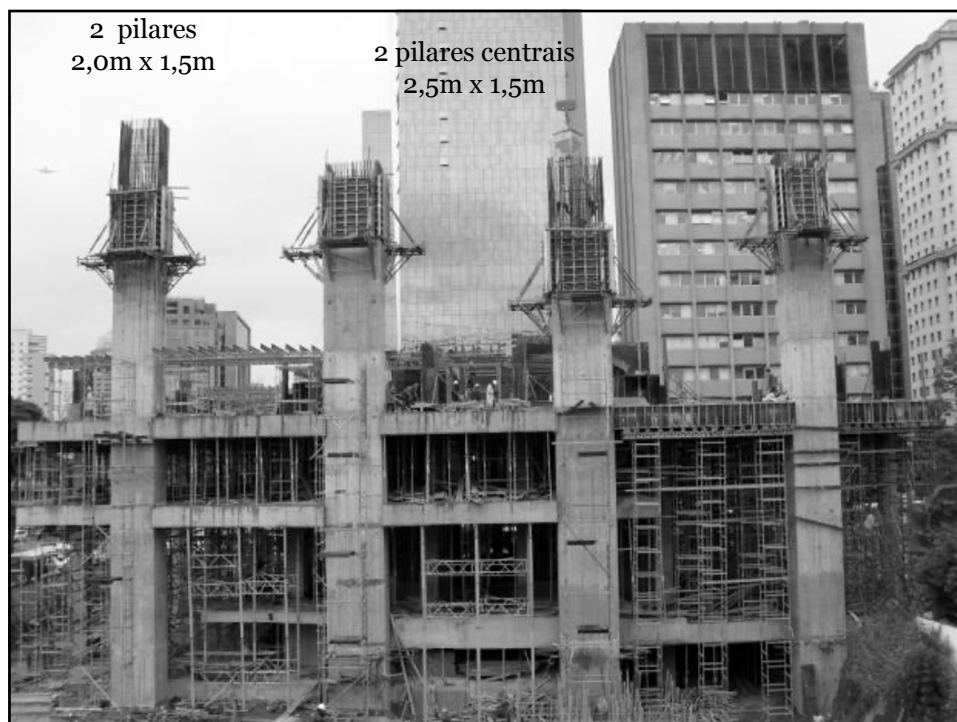
168



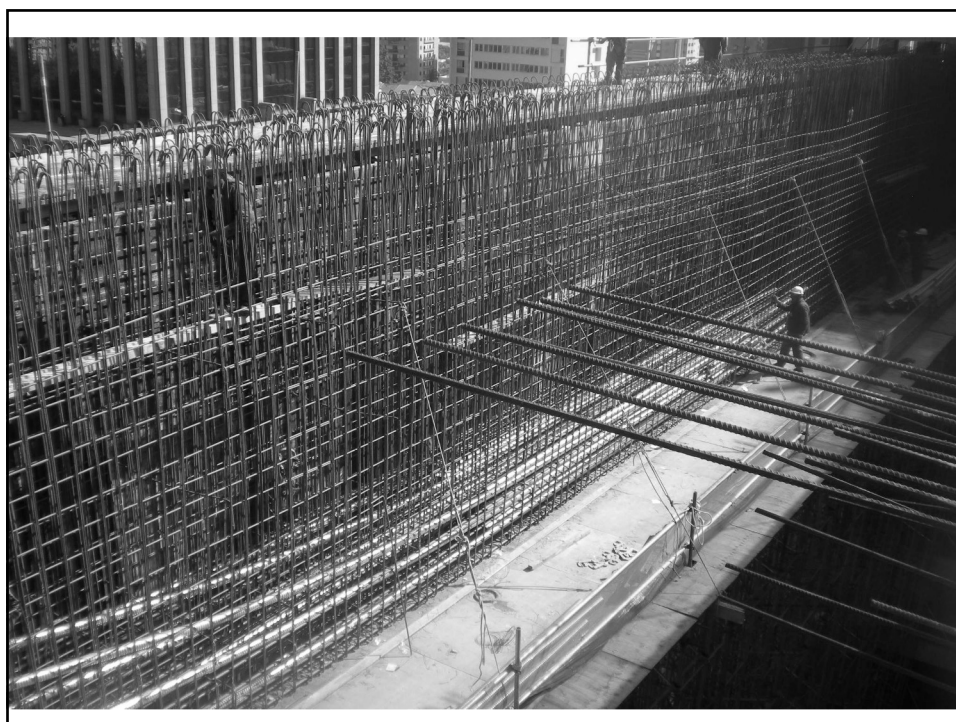
169



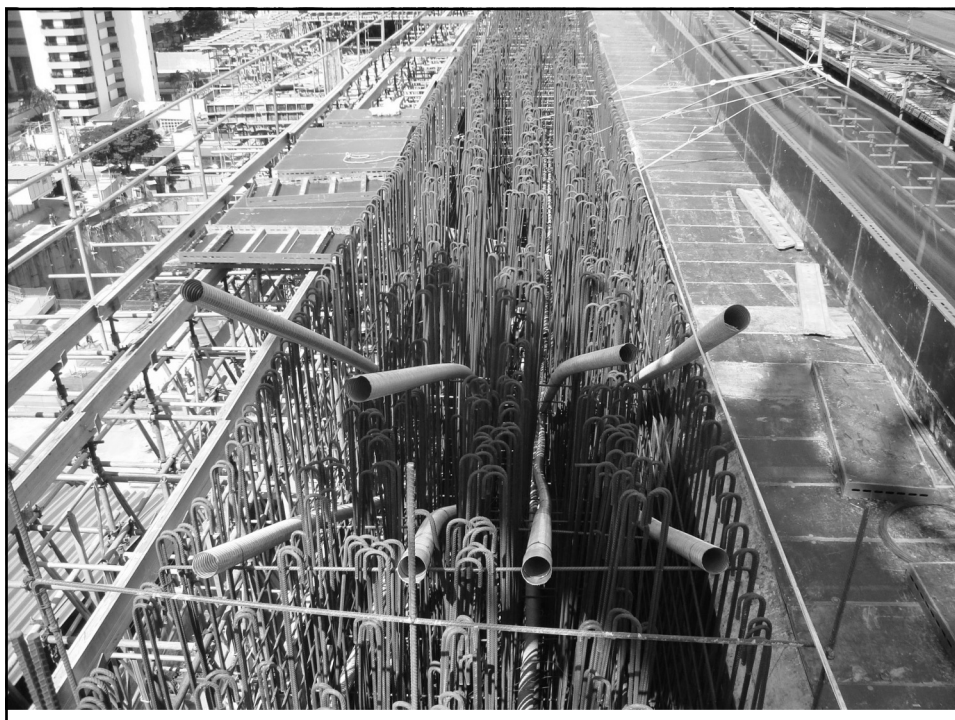
170



171



172



173



174



175



176



proteção contra a chuva

177



escoramento em balanço

178

Temperatura de lançamento

- ✓ depende do consumo dos materiais (traço)
- ✓ depende do calor específico dos materiais
- ✓ depende da temperatura natural dos materiais
- ✓ depende da logística (fator tempo)*

* tempo associado a transporte e descarga do concreto

dado de entrada mutável

179

179

Temperatura de lançamento

Material	Consumo kg/m³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m³.°C)	T (°C)	Q (kcal/m³)
Cimento.CPII E-40	365	0,240	87,60	55	4818
Microsilica	29,6	0,200	5,92	40	236,8
Areia Artif.	525,3	0,200	105,06	22	2311,32
Areia Nat.	525,3	0,200	105,06	22	2311,32
Brita 0	336,5	0,200	67,30	22	1480,6
Brita 1	504,7	0,200	100,94	22	2220,68
Água	119,8	1,000	119,84	25	2996,1
Umidade Miúdo Art.	13,1	1,000	13,13	25	328,3
Umidade Miúdo Nat.	42,0	1,000	42,02	25	1050,6
Umidade Graúdo	0	1,000	0	25	0
Betoneira					2000
Total			646,88		19753,72
Transporte (Ganho)		10,0°C			
T Lançamento=		40,5°C			

sem gelo

180

180

Temperatura de lançamento

Material	Consumo kg/m ³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m ³ .°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	Ti -Tf (°C)	Q (kcal/m ³)
Cimento.CPIL E-40	365	0,240	87,60	55	0	55	4818
Microssilica	29,6	0,200	5,92	40	0	40	236,8
Areia Artif.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Areia Nat.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Brita 0	336,5	0,200	67,3	22	0	22	1480,6
Brita 1	504,7	0,200	100,94	22	0	22	2220,68
Água	0	1,000	0	25	0	25	0
Umidade Miúdo Art.	13,1	1,000	13,13	25	0	25	328,31
Umidade Miúdo Nat.	42,0	1,000	42,02	25	0	25	1050,6
Umidade Graúdo	0	1,000	0	25	0	25	0
Gelo	119,8	0,500	59,92	0	0	0	0
Fusão Gelo	119,8	1,000	119,84	0	0	0	-9587,48
Gelo + Água	119,8	1,000	119,84	0	18	-18	-2157,18
Betoneira							2000
Total			826,65				5012,97
Transporte (Ganho)		10,0°C					
T Lançamento=		16,1°C					

com gelo: redução de 60%
181

181

Temperatura de lançamento




é possível ...

182

182



183



184

Acabamento



185

O concreto autoadensável



*CEB-FIP
Bulletin 38, 2007*

186

186



187

Comprometimento!

Do your best!

188



189